

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

03.02.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 3月26日

REC'D 28 MAR 2003

J. P. O.

PCT

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-086196

[ST.10/C]:

[JP2002-086196]

出 願 人

Applicant(s):

株式会社東北テクノアーチ

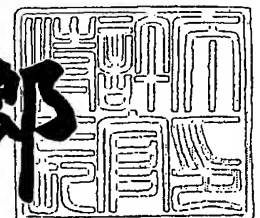
**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 3月11日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3015508

【書類名】 特許願

【整理番号】 PTA0502FE

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/3065

【発明者】

    【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区芋沢字吉成山 3-52 (14B-27L)

    【氏名】 寒川 誠二

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区東大井 2-13-10-201

    【氏名】 新村 忠

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県名古屋市中区金山 5-21-8

    【氏名】 沖川 満

【特許出願人】

    【識別番号】 899000035

    【氏名又は名称】 株式会社 東北テクノアーチ

【代理人】

    【識別番号】 100098729

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 重信 和男

【選任した代理人】

    【識別番号】 100105371

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 加古 進

【選任した代理人】

    【識別番号】 100116757

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 清水 英雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 046422

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 オンウエハ・モニタリング・システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 プラズマ処理装置の動作をオンウエハで計測することができる  
オンウエハ・モニタリング・システムであって、

シリコン基板上に設けた、1つ又は複数のセンサ部、電源部、及び、外部との  
信号を入出力する入出力部を備え、

前記センサ部には、パターン部分と、プラズマのイオン及び電子をエネルギー  
により分離するための複数の電極とを有するとともに、前記パターン部分の直下  
には前記シリコン基板と同電位の電極を備えた

ことを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおい  
て、

前記センサ部の複数の電極は A 1 電極であり、それぞれの A 1 電極間は  $\gamma - A$   
 $1_2 O_3$  で絶縁されている

ことを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【請求項 3】 請求項 2 に記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおい  
て、

前記 A 1 電極の側面は、薄い酸化膜皮膜で覆うことを特徴とするオンウエハ・  
モニタリング・システム。

【請求項 4】 請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載のオンウエハ・モニタリング・  
システムにおいて、

前記電源部は、プラズマ電位より電力を取り出すか、又は、P L Z T 素子の光  
起電力により電力を取り出すことを特徴とするオンウエハ・モニタリング・シス  
テム。

【請求項 5】 請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のオンウエハ・モニタリング・  
システムにおいて、

前記入出力部は、光で外部との信号の入出力を行うことを特徴とするオンウエ  
ハ・モニタリング・システム。

【請求項6】請求項1～5のいずれかに記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおいて、

前記センサとして、センサ部底部にコレクタ電極を有し、該コレクタ電極におけるイオン電流を測定して、イオン・エネルギー分布を得るイオン・エネルギー・分析器を含むことを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【請求項7】請求項1～6のいずれかに記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおいて、

前記センサとして、パターン内に入射する光を絶縁膜中に発生する光誘起電流で検出するフォトン検出器を含むことを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【請求項8】請求項7のいずれかに記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおいて、

前記フォトン検出器は、前記絶縁膜上に金属薄膜を形成し、該金属薄膜を透過した光のなかで、該金属の仕事関数と前記絶縁膜の伝導帯底とのエネルギー差に相当するエネルギー以上の光を検出することを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【請求項9】請求項1～6のいずれかに記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおいて、

前記センサとして、フォトダイオードで光を検出するフォトン検出器を含むことを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【請求項10】請求項1～9のいずれかに記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおいて、

前記センサとして、電子銃からの電子とラジカル又はイオンとの衝突による発光を検出することでラジカルやイオンを特定するイオン・ラジカル分析器を含むことを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【請求項11】請求項10に記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおいて、

前記イオン・ラジカル分析器は、発光検出のために分光器を有することを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【請求項12】請求項1～11のいずれかに記載のオンウエハ・モニタリング・システムにおいて、

前記センサとして、電子電流、電子エネルギー分布、イオン電流、電子温度、電子密度、又は、電荷蓄積量の少なくとも1つを検出するプローブを含むことを特徴とするオンウエハ・モニタリング・システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明はプラズマ処理装置において、ウエハ表面でプラズマを計測するためのマイクロ・ナノセンシング・システム技術に関する。

【0002】

【技術的背景】

図1に、半導体製造工程に用いられるプラズマ処理装置100の概略を示す。この図において、プラズマ処理装置100で、プラズマ110を用いて、レジスト132でマスクした基板130を加工処理しているところを示している。プラズマ110は、真空( $1\text{ Torr} \sim 10^{-4}\text{ Torr}$ )中に、ガス( $\text{Cl}_2$ 等)を導入し、高周波電界( $400\text{ kHz} \sim 2.45\text{ MHz}$ )を印加して、プラズマ110を発生させている。このプラズマ110を用いて、レジスト132でマスクした基板130に基板電源( $400\text{ kHz} \sim 13.56\text{ GHz}$ )を印加することにより加工処理を行っている。このプラズマ処理装置では、プラズマの気相反応制御(電子エネルギー分布制御、ガス分子構造の最適化、滞在時間制御等)と基板の表面反応制御(基板温度制御、表面不純物制御、反応生成物制御、基板バイアス制御等)を行う必要がある。

このプラズマ処理装置の評価方法としては、代表的なラングミュアー・プローブ等の探針を用いる評価方法がある。この探針を用いる評価方法は、プラズマ内部の特性を計測するのみで、プラズマより被処理材料に入射する各種粒子の密度やエネルギーの測定は不可能である。

【0003】

プラズマ処理装置により加工または堆積される被処理材料基板のパターン寸法

は、数100nmのオーダーにまで微細化が進んでいる。したがって、このような微細パターンの内部にプラズマから入射する各種粒子の特性を計測する必要性が高まっている。

処理対象の基板に入射する粒子の特性を計測するために、平板にピンホールを形成し、その背後に阻止電界型エネルギー分析器を設置して、入射する粒子の計測を行っている。このような従来の方法は、ピンホールのサイズが $\sim$ mm程度と、実際の加工寸法とはかけ離れた値となっており、精密な入射粒子の計測が不可能であった。また、エネルギー分析器の分析管内での粒子間の衝突によるエネルギーや荷電状態の変化を抑制するために、差動排気システムが必要になるなど、現実の稼働中のプラズマ処理装置での測定は、事実上不可能であった。

このように、従来のプラズマ計測システムは装置が大掛りであり（プローブ、質量分析器等）プラズマへの擾乱も大きい。このため、最も重要であるマイクロ・ナノスケールでエッチング反応の進むウェハ表面上でのプラズマ計測は、従来のプラズマ計測システムでは不可能である。加えて装置コストも高いことなどから実際の生産装置に適用することが困難であった。

さて、半導体製造工程の微細加工の代表例として、シリコン酸化膜のプラズマ・エッチングが挙げられる。シリコン酸化膜のエッチングに寄与するためには、数100eVのエネルギーを有するイオンが必要である。このイオンのエネルギー分布を阻止電界型エネルギー分析器で計測しようとする場合、阻止電界発生電極に高電圧を印加する必要がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、プラズマ処理装置で、加工対象である基板の位置におけるモニタが可能であるオンウェハ・モニタリング・システムの提供である。

【0005】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、プラズマ処理装置の動作をオンウェハで計測することができるオンウェハ・モニタリング・システムであって、シリコン基板上に設けた、1つ又は複数のセンサ部、電源部、及び、外部との信号を入

出力する入出力部を備え、前記センサ部には、パターン部分とプラズマのイオン及び電子をエネルギーにより分離するための複数の電極とを有するとともに、前記パターン部分の直下には前記シリコン基板と同電位の電極を備えたことを特徴とする。

前記センサ部の複数の電極はA1電極であり、それぞれのA1電極間は $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で絶縁してもよい。このA1電極の側面は、薄い酸化膜皮膜で覆ってもよい。

前記電源部は、プラズマ電位より電力を取り出すか、又は、PLZT素子の光起電力により電力を取り出す構成とすることができる。また、前記入出力部は、光で外部との信号の入出力を行うことができる。

前記センサとして、センサ部底部にコレクタ電極を有し、該コレクタ電極におけるイオン電流を測定して、イオン・エネルギー分布を得るイオン・エネルギー・分析器を含むことができる。

前記センサとして、パターン内に入射する光を絶縁膜中に発生する光誘起電流で検出するフォトン検出器であり、このフォトン検出器は、前記絶縁膜上に金属薄膜を形成し、該金属薄膜を透過した光のなかで、該金属の仕事関数と前記絶縁膜の伝導帯底とのエネルギー差に相当するエネルギー以上の光を検出することもできる。

また、前記センサとして、フォトダイオードで光を検出するフォトン検出器を含むことができる。

前記センサとして、電子銃からの電子とラジカル又はイオンとの衝突による発光を検出することでラジカルやイオンを特定するイオン・ラジカル分析器を含むことができ、このイオン・ラジカル分析器は、発光検出のために分光器を有することができる。

前記センサとして、電子電流、電子エネルギー分布、イオン電流、電子温度、電子密度、又は、電荷蓄積量の少なくとも1つを検出するプローブを含むこともできる。

【0006】

【発明の実施の形態】



本発明の実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。

本発明におけるオンウエハ・モニタリング・システムの基本構造を図2および図3に示す。

図2において、オンウエハ・モニタリング・システム200は、基板上にセンサ等を作成して、プラズマ処理装置100中の処理対象基板の位置に置かれていることを示している。オンウエハ・モニタリング・システム200は、図3に示すように、基板上に作成された各種センサと、光で外部とデータの入出力を行うデータ入出力部210と、これらに電源を供給している電源部250とを備えている。オンウエハのデータ入出力部210は、外部に設置されている光による入出力部である、レーザ・ダイオード(LD)320やフォト・ダイオード(PD)330と接続されており、外部からの指令を受信したり、モニタしたデータを外部に送信する。

図2や図3に示したオンウエハ・モニタリング・システム200では基板上に、センサとして、イオン・エネルギー・アナライザ400、VUVフォトン検出器500、ラジカル・イオン種発光分光装置600を備えた例である。これらのセンサの構成は後で詳しく説明する。

#### 【0007】

図3に示すように、これらの測定系をSiウエハ上に集積することで、様々なプラズマプロセス装置での計測を、容易に行なうことができる。図3には、電圧駆動系、信号検出系をSiウエハ上に電気回路を形成することで構築した例を示したが、Siウエハ上に、受光素子、発光素子を設置することで、センサーの駆動や信号の検出を、光を用いて真空装置の外から制御することもできる。本発明の特徴は、微細なセンサを用いて、プラズマ・プロセスの計測をワイアレスで行なうことにある。基本的に、オンウエハ・モニタリング・システムのセンサー部はマイクロマシン技術、信号処理部分はLSI技術を用いて開発する。

ワンチップのサイズについては、例えば2cm×2cm程度である。ウエハ・サイズは、最終的に8インチおよび12インチである。また、TEG(test element group)的なものではなく、専用ウエハに作りこみ、ウエハ面内の分布も全て計測できるものとする。

この様にして、イオン・エネルギー・アナライザ、イオン・エネルギー・アナライザーをベースとしたプローブ、フォトン検出器、およびイオン種・ラジカル種発光分光器をロックイン・アンプ、フォト・ダイオード、メモリ回路、スイッチング回路、フィルター回路、入出力信号系のLSIと集積化し、さらに電源系も1チップに作りこむ。データの送受信は全て光インターコネクトで行い、完全なワイアレス・インライン・システムを構築することができる。

また、図2に示すように、このオンウエハ・モニタリング・システムを用いて、取得したデータをワイヤレスでコンピュータ310に送信することにより、リアルタイムでプラズマ処理のプロセスをシミュレーションできる。また、このシミュレーションによる予測を、プラズマ発生装置にフィードバックして、プロセス進行中にプロセスを制御することもできる。

#### 【0008】

##### <入出力部>

信号のワイアレス送受信のためには、フォト・ダイオード(PD)による光インターコネクト技術を用いている。

図4に入出力部の構成例を示す。図4(a)は、フォト・ダイオード212及び214による受信部を示している。外部のレーザ・ダイオード(LD)からの光信号による指令は、フォト・ダイオード212により受信され、バックグラウンド光を受けているフォト・ダイオード214からの出力と作動アンプ216により差を取られる。その後、選択回路218により、各センサ等に指令として送られる。

このように、光信号により、外部とオンウエハ・モニタリング・システム200とをワイヤレスで通信することができる。

#### 【0009】

##### <電源>

さて、各種センサに供給する電源250は、基板上に作成されており、プラズマ処理装置100のプラズマにより発生するポテンシャル(数十V~数百V)を利用して、電圧可変回路と結びつけることで電圧を制御している。

図5に電源部250の構成例を示している。図5において、プラズマ110に

おけるプラズマ空間電位とグランドとの電位差を電極 2 7 1 ~ 2 7 3 で受けている。この電位差を受けて、トランジスタ 2 5 2 ~ 2 5 4 及びトランジスタ 2 5 5 ~ 2 5 7 をデコーダで流れる電流を制御することで、所望の電圧  $V = n \cdot R \cdot I$  を得ている。なお、 $R$  は抵抗 2 6 2 ~ 2 6 4 の抵抗値、 $n$  は抵抗の個数である。

より高電圧が必要な場合には、PLZT（チタン酸ジルコン酸ランタン鉛）素子を用いる。この素子では  $3 \text{ kV} / \text{cm}$  程度の電圧の供給が可能である。この例を図 6 に示す。図 6 において、分極処理をした PLZT（チタン酸ジルコン酸ランタン鉛）素子 2 8 0 に対して波長  $365 \text{ nm}$  以上の紫外光を照射すると、その照射光強度に対応した内部電流が流れ、電極 2 8 2 及び電極 2 8 4 の間に、電極間距離に応じて  $3.3 \text{ kV} / \text{cm}$  の電圧が生じる。使用する紫外光としてはプラズマからの紫外光や外部から照射した紫外光を用いる。これにより、高電圧の電源をオンウエハ・モニタリング・システム 2 0 0 内部に設置することができる。

このように、オンウエハ・モニタリング・システム 2 0 0 に供給する電源には、図 5 に示すようにウエハ上に発生したポテンシャルを取り出すことや、図 6 に示すように紫外線照射によって高電圧を発生させることの可能な PLZT（チタン酸ジルコン酸ランタン鉛）素子を用いることができる。

#### 【 0 0 1 0 】

#### < オンウエハ・イオン・エネルギー・アナライザ >

まず、オンウエハ・モニタリング・システム 2 0 0 に搭載するセンサの例として、図 7 及び図 8 を用いて、イオン・エネルギー・アナライザの構成について説明する。図 7 (a) は上から見た平面図であり、図 7 (b) は図 7 (a) の A - A' を切断した断面図である。図 7 (b) の半導体デバイスに該当するパターン・サイズを有する部分（図では  $\text{SiO}_2$  4 2 1）と、分析素子部分の下層にあるコレクタ電極 4 1 3 は、例えば図 7 (a) に示すようなジグザグの線状に形成する構造としている。図 8 は、図 7 に示した電極等を用いた測定装置全体の構成を示している。

半導体デバイスに該当するパターン部分（ $\text{SiO}_2$  4 2 1）と、分析素子部分とを別々に有するために、分析素子部分に所定の微細穴（例えば  $100 \text{ nm}$ ）さえ形成しておけば、分析素子における穴径や深さは、数  $\mu \text{m}$  までのオーダーで自由

に設計することが可能となる。表面のシースやプラズマに対する擾乱は、デバイスよりも小さいパターン・サイズにすることで防ぐことができる。

イオン・エネルギー・アナライザは、高アスペクト・パターン内で電圧・電流特性を測定することが必要である。そのため、図7に示すように、プラズマ処理対象である $\text{SiO}_2$ 層421のパターンの下に電圧を印加する電極を埋め込むこととなる。印加する電圧は、シリコン酸化膜エッチングまで想定すると、 $\sim 1 \text{ kV}$ と極めて高いため、絶縁膜材料には高耐圧が必要である。そのため、材料の選定が極めて重要である。現状ではアルミを陽極酸化した $\text{Al}_2\text{O}_3$ を用いるとよい。

#### 【0011】

側壁電極には、電子リターディング電圧印加用電極424、イオン・エネルギー分離電圧用電極426、2次電子除去電極428が配置されている。各電極には、図8に示すように、流入電子の阻止電圧 $V_1$ 462、イオン・エネルギー分離用電圧 $V_2$ 464、2次電子除去電圧 $V_3$ 466が印加される。また、一番上( $\text{SiO}_2$ 層421の直下)の側壁電極422は、図8に示すように、 $\text{Si}$ 層411と直結して同電位としている。これは、通常のプラズマ・エッチング処理では、 $\text{SiO}_2$ 層421の下は $\text{Si}$ 層411であり、それをこのセンサで模擬的に実現するために行っている。

各電極の電圧を適当に設定することで、エッチング・パターン(図7では $\text{SiO}_2$ 層421)に入射する、電子電流/エネルギー、イオン電流/エネルギーの計測が行なえる他、入射粒子の中から、電子・イオンといった荷電粒子を除去し、中性粒子・フォトンを取り出しが可能である。

#### 【0012】

イオン・エネルギー・アナライザ等では、入射イオン・エネルギーを分離するために、数百V以上の高電圧をマイクロ領域に印加しなければならず、絶縁膜には高耐圧である $\text{Al}_2\text{O}_3$ が用いられている。電圧を印加するアルミ電極表面は薄い酸化膜皮膜で覆われており、ポリマーなどの堆積物があっても影響を受けない構造になっている。

イオン・エネルギー・アナライザ400では、イオン・エネルギー分離用電圧

$V_{2464}$ として、図8に示すように、直線的に増加する電圧と、周波数発生器452からの一定周波数の電圧とを合成した電圧を印加する。そして、コレクタ電極413に流れる微小なイオン電流を測定するため、プラズマからのノイズに関してはロックイン・アンプ454を用いてノイズを除去して、電圧・イオン電流特性を測定する。その値を微分することでイオン・エネルギー分布を算出している。

#### 【0013】

個々の電極は絶縁材料で分離されており、本発明では、電界コンデンサのバリア皮膜として用いられている高耐圧の $\gamma$ - $Al_2O_3$ を電極間の絶縁材料として使用している。計測する荷電粒子のエネルギーに応じて、他の絶縁材料( $SiO_2$ やその他のセラミック材料)を用いても構わない。また、計測の種類や必要な測定精度によっては、阻止電界発生用の電極の数を減じても構わない。

実際のプラズマ・プロセス中では、上記構造上に堆積物が形成される場合があり、この堆積物による阻止電界の変動が問題になる。例えば、 $SiO_2$ をエッチングする場合、C-F系ガスを用いて行くと、側壁電極にテフロン(登録商標)のような構造を有する有機物が堆積する場合がある。本発明では、側壁に露出する電極表面に十分容量の大きな皮膜(例えば、 $Al_2O_3$ )を形成しておくことで、堆積物が測定に与える影響を抑えている。

#### 【0014】

表面のシースやプラズマに対する擾乱は、デバイ長よりも小さいパターン・サイズにし、また、センサー表面は基板と同電位にすることで殆ど抑制することができる。

ノイズに対してはロックイン・アンプを用い、ノイズを除去してイオン電流を測定する方法を用いている。上述のように、基板内にロックインアンプ回路を形成することも可能であるが、光インターコネクトを用いて信号を外部に送信して、外部にロックインアンプを設置しても良い。

上述のオンウエハ・イオン・エネルギー・アナライザ400は、 $SiO_2$ 層のパターン内にあけた微細穴構造に入射するイオン・エネルギー分布を、プラズマからのノイズや堆積膜の影響無しに計測することができる。

【0015】

このイオン・エネルギー・アナライザの構造は、半導体デバイス製造技術を用いて、Siウエハ上に形成される。図9、図10は、製造過程の1例である。

図9(a)(1)において、シリコン基板411を酸化して、基板上に酸化膜412を形成し、アルミニウムを成膜した後、例えば図7(a)に示すように、ジグザグの線状にパターニングして、アルミニウム電極(コレクタ電極413)を形成する。次に、陽極酸化してアルミニウム層上に $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層を形成すると共に、形成した $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層に対して、RIE(reactive ion etching)を行い、微細穴を形成する(図9(a)(2)参照)。

図9(b)(1)~(3)に示すように、 $\text{SiO}_2$ 層をコレクタ電極のAl層413上に保護のためにCVD(chemical vapor deposition)により形成して、形成した $\text{SiO}_2$ 層をCMP(chemical mechanical polishing)することで、 $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層とそろえて平坦にする。その上にアルミニウムをスパッタして電極を形成する。次にその電極にRIEを行って微細穴を形成した後、陽極酸化して、 $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層427を形成する。この陽極酸化を行うときに、アルミニウムの電極の側面に露出している部分に $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層を形成している。

この後に、 $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層上のアルミニウム電極のスパッタ、RIEによる微細穴形成、陽極酸化による $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層形成を、複数回(図では2回)繰り返して、最後にアルミニウム電極のスパッタ、RIEによる微細穴形成を行ったものが図9(c)に示されている。

次に、図10(d)(1)に示すように、先ほどCVDにより形成した保護のための $\text{SiO}_2$ 層をRIEにより取り除き、その後、微細穴内を含めて多結晶シリコンを形成する。そして、多結晶Siをエッチバックして平坦化する(図10(d)(2)参照)。そして、図10(d)に示すように、平坦化した平面上に $\text{SiO}_2$ 層を形成し、形成した $\text{SiO}_2$ 層に微細穴をRIEにより作成する。最終的に、多結晶シリコンをRIEにより取り除き、微細穴をコレクタ電極413まで貫通させる(図10(f)参照)。

このようにして、イオン・エネルギー・アナライザを、半導体デバイス製造技術を用いて、Siウエハ上に形成することができる。

【0016】

## ＜オンウエハ・フォトン検出器＞

オンウエハ・フォトン検出器は、パターン内に入射する真空紫外光（VUV）などの光の強度や波長などを、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜などの絶縁膜中に発生する光誘起電流に変換して測定する。それぞれの材料のエネルギー・バンドギャップを越えるエネルギーを持つ光を検出することができる。例えば、シリコン酸化膜は8.8 eVであり、真空紫外光を計測することができる。シリコン窒化膜は5 eVであり、シリコン酸窒化膜は前2つの値の間の値である。

また、絶縁膜上に1  $\mu$ m程度の金属薄膜を置くと、その金属内の電子密度で決まるプラズマ振動数を超える光のみ透過する。さらに、この金属膜を極薄膜化することで、プラズマ振動数以下の波長も透過する。このとき、金属の仕事関数と絶縁膜の伝導帯底とのエネルギー差に相当する光が、金属膜と絶縁膜との界面で吸収され、絶縁膜伝導帯に電子キャリアを生成する、即ち光誘起電流が発生する。これにより、特定の波長の光を検出することができる。金属の種類・膜厚を変えることで、固有のプラズマ振動数あるいは仕事関数を変化させることができる。絶縁膜の種類・膜厚を変えることで固有のバンドギャップを変化させることができる。これにより、絶縁膜材料、金属、半導体（Si）を組み合わせることで、様々な波長の光を検出することができる。さらに、放射光だけパターン内に入射できるように電子やイオンをリターディングする電圧を印加して測定することもできるし、金属膜を絶縁膜上に堆積することによっても、電子やイオンを除去することができる。

フォトン検出器500の構成を図11（a）に示す。その構造は、図7に示したイオン・エネルギー・アナライザ400と基本的に同じであるが、図11（a）に示すように、底部の電極513の表面にSiO<sub>2</sub>膜514がカバーされている。前述のように、このシリコン酸化膜514は、シリコン窒化膜、シリコン酸窒化膜等の絶縁膜でもよく、絶縁膜の種類や厚さにより検出する光の波長を特定することができる。この絶縁膜514は、光の波長に対する吸光度が既知であり、膜厚を制御して設置している。この絶縁膜514中に発生する光誘起電流を、

コレクタ電極 513 で集めて測定することでフォトン測定する。コレクタ電極 513 に流れる電流をモニターすることで、パターン内に入射する光の波長に関する情報を得ることができる。

また、図 11 (b) に示すように、コレクタ電極の代わりに、Si 基板 561 に  $45^\circ$  の角度で加工した鏡 563 を形成し、入射した光のみを反射させ、フォトダイオード 550 で入射光強度を計測する構成としてもよい。

図 11 (a) 及び (b) のフォトン検出器 500 においても、それぞれの電極には、図 8 に示したイオン・エネルギー・アナライザと同様の電圧を印加して、電子やイオンをコレクタ電極等には届かないようにしている。また、作成方法も図 9 及び図 10 と同様である。

【0017】

#### <オンウエハ・ラジカル・イオン種発光分光装置>

オンウエハ・ラジカル・イオン種発光分光装置は、基板に入射してくるイオンおよびラジカル種を特定するために、質量分析器の代わりに使用されるものである。質量分析器は質量を分離するのにある程度の距離が必要となり、シリコン基板上に作りこむことが難しい。また、長い距離輸送することで損失したり種々の反応が生じる可能性があり精度の良い測定が難しい。そこで、ミクロな領域でのイオン種、ラジカル種の特定が実現でき、微細化・集積化に対応できるマイクロ電子銃を用いた発光分光器を開発した。

図 12 に示すオンウエハ・ラジカル・イオン種発光分光装置 600 は、パターン 644 内に入射してくるイオン、電子、ラジカルを上述したイオン・エネルギー・アナライザで用いたものと同様の電極構造 (638~644) を用いて分離する。これらの電極には、電子を阻止する電圧 622 やイオンを阻止する電圧 624 を印加する。なお、ここで用いている電極構造はシリコンと窒化シリコンで構成しているが、図 7 と同様に  $Al$  と  $Al_2O_3$  を用いてもよい。

入射ラジカルおよびイオンは、マイクロ電子銃 610 により生成されるエネルギー可変電子ビームにより発光し、その発光をマイクロ分光器に伝搬して分光する。発光を分光器に伝搬させるために光導波路 645 を用いる。分光器は  $20\text{ nm}$  以下の分解能で分光を行える。



また、同時にラジカルの電子ビームによるイオン化電位をイオン・コレクタ電極 615 により測定し、発光分光と併せてラジカルなどの特定を行える構造となっている。これは、電源 614 の電圧を変化させ、イオン・コレクタ電極 615 への印加電圧を変化させて電圧－電流特性を測定し、中性粒子固有の出現電位を求めることで、ラジカル放出を検出することができる。

#### 【0018】

イオン種、ラジカル種を検出する発光分光器では、イオンやラジカルを発光させるための電子ビーム源をマイクロ電界放出型電子銃を用いて製作する。これを図 13、図 14 を用いて説明する。

図 13 は、論文 (J J A P 36 (1997) L939) に記されている電界放出型電子銃である。この電子銃は、シリコン基板 651 上の酸化膜 652 にアルミの電極を設けている。この上にシリコン層 654 とシリコン酸化膜 655 を設けてプラチナの電極 656 を生成している。また、プラチナ電極 656 の 1 cm 上に、電子を放出するための電界を印加するための電極 657 を設けている。アルミ電極 653 とプラチナ電極 656 間に電圧 110 V、プラチナ電極 656 とその上の電極 657 との間に電圧 5 kV を印加すると、放出電子密度  $1.4 \text{ mA/cm}^2$  が得られている。

さて、電界放出電子電流に関する Fowler-Nordheim の式は、仕事関数  $\phi$  [eV] 及び電界強度  $F$  [ $\text{V/cm}$ ] に依存しており、電流密度  $J_0$  に対して以下のことが成り立つ。

#### 【数 1】

$$J_0 = \frac{1.54 \times 10^{-6} F^2}{\phi} \exp \left\{ \frac{-6.83 \times 10^7 \phi^{3/2}}{F} \right\} [\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}]$$

ここで、電極間隔 1 cm、印加電圧 5 kV とすると、電界強度は  $5 \times 10^3$  [ $\text{V/cm}$ ] となり、これをマイクロ化して電極間隔を  $1/1000$  とすると、同じ電界強度を得るために、5 V を印加すればよいことになる。

#### 【0019】

これを実現したものが図 14 に示した電子銃である。図 14 (a) は斜視図、図 14 (b) は上から見た平面図である。図 13 と同様の構成で、アルミニウム

電極 632, シリコン層 633,  $\text{SiO}_2$  層 634, プラチナ電極 635 と、プラチナ電極 636 とで電子銃を構成している。電極 615 のカバー 616 やデポ避け用カバー 637 は  $\text{Si}_3\text{N}_4$  で作成されており、電極 615 やプラチナ電極 635 に堆積物が着くことを阻止している。

電子銃による発光は、 $\text{SiON}$  膜を  $\text{SiO}_2$  膜で挟んだ構造のものか、 $\text{SiO}_2$  表面に  $\text{Mg}$  をドーピングした構造の導波路 645 により伝搬され、マイクロ分光器 650 で分光解析される。

#### 【0020】

マイクロ分光器 650 の構成を図 15 で説明する。図 15 に示すように、入力光を、光導波路に設けた例えばのこぎり歯状に加工したブレード格子 690 で反射することで、波長  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  にスペクトル分解して、受光素子 674 ~ 678 で検出している。このように回折素子を半導体素子で作成することで、マイクロ分光器 650 を構成している。光導波路は、(a) に示すように屈折率が低い ( $n_2$ ) 層の中に高い ( $n_1$ ) 層を形成するか、(b) に示すように屈折率が低い ( $n_2$ ) 層で高い ( $n_1$ ) 層を挟むように形成する。この屈折率の違う層を作成するには、 $\text{SiO}_2$  層にイオンドープにより屈折率が低い部分を作成するか、ポリイミドで導波路を形成してもよい。

マイクロ分光器を用いることで、微小な光でも感度良く検出される。ラジカルの場合には、同時にイオン化された電流値を観察することで、出現電位をモニタリングする。これら個別マイクロ・センサ技術を集積化する。

#### 【0021】

オンウエハ・ラジカル・イオン種発光分光装置 600 の製造過程の 1 例を図 16 及び図 17 を用いて説明する。

図 16 (a) では、シリコン基板 630 上に酸化膜 631 を形成している。その酸化膜 631 上にシリコンを堆積してエッチングすることで、 $\text{Si}$  層 633 を形成する (図 16 (b) 参照)。この  $\text{Si}$  層 633 にアルミニウムを蒸着することで電極 632 を形成する (図 16 (c) 参照)。また、 $\text{Si}$  層 633 上に  $\text{SiO}_2$  を堆積してエッチングすることで  $\text{SiO}_2$  層 634 を形成する (図 16 (d) 参照)。

次に、図16(e)に示すように、プラチナを堆積してパターンニングすることで、電極635と電極636を形成する。そして、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ を堆積してエッチングすることで、電極に対して保護を行うカバー637、616を形成する(図16(f)参照)。

図17(g), (h)に示すように、 $\text{SiO}_2$ (犠牲層を含む)を堆積してエッチングするとともに、形成した $\text{SiO}_2$ 上に $\text{Si}_3\text{N}_4$ を堆積してエッチングすることで、電極615に対するカバー616を完成する。次に、導波路645を作成するために、 $\text{SiO}_2$ を堆積してエッチングするとともに、イオンドープを行う(図17(i)参照)。

図17(j), (k)に示すように、プラズマからの電子やイオンを阻止するための電極を形成するために、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ を堆積してエッチングした後に、この電極形成時に使用した $\text{SiO}_2$ の犠牲層もエッチングして取り除く。なお、図17(j), (k)のときに、図示していないが、パターン層として、例えば図12の $\text{SiO}_2$ 層644や電極Si643も形成する。

#### 【0022】

電子銃の他の構成を図18に示す。図14には、4角形で3辺から電子放出し、1辺に導波路645を設置する構成が記載されているが、図18に示すように、形状を円形としてもよい。図18において、同心円の電子放出用電極712とメッシュ電極714間に電圧を印加することで、電子銃から放出される電子を特定領域(同心円の中心部分)716に集中させることができる。

また、図19は、イオン・ラジカル分析器で、電子銃による発光を観測するための分析器として、光干渉多層膜と光ダイオードとを組み合わせた構成を使用するイオン・ラジカル分析器の概略を示す。図示の概略構成は、中性粒子等の電子衝突による発光を、光干渉多層膜で構成した狭帯域透過光学フィルタ844と光ダイオード843で検出している。このイオン・ラジカル分析器の構成の電子銃810としては、図18に示した電子銃の構成を用いることが適している。なお、光ダイオード842は、光干渉多層薄膜844を透過する紫外線等の光を検出している光子検出器を構成している。

#### 【0023】

### <オンウエハ・プローブ>

オンウエハ・プローブは、図20に示すように、基本的に図7に示されているイオン・エネルギー・アナライザと同じ構造で、底部電極であるコレクターで電圧電流測定を行う。エッチング・パターン内に入ってくる電子電流、電子エネルギー分布、イオン電流、電子温度、電子密度、電荷蓄積量などの測定を、各電極に印加する電圧等を制御することで行うことのできるマイクロ・プローブである。これをオンウエハ・モニタリング・システムのセンサとして搭載することもできる。

【0024】

### <その他の応用>

図7や図20に示したセンサ構造をプラズマにさらした後、各電極間に一定電圧を印加し、電極間を流れる電流を測定することで、側壁導電性のアスペクト依存性を容易に測定することができる。

また、各電極をそれぞれ、フラッシュ・メモリの制御電極に接続しておき、プラズマにさらした後、浮遊電極に蓄積された電荷を、制御電極の $V_{th}$ シフトとして測定することで、プラズマ・プロセスによる帯電量の深さ依存性を、一度に評価可能となる。

【0025】

### <デポの影響>

本発明におけるプラズマ・オンウエハ・モニタリングは、主にプラズマ・エッチング・プロセスを想定している。特にシリコン酸化膜エッチングにおけるポリマー堆積などによりモニタリングに影響を及ぼすことが考えられる。そこで、本発明では、ポリマー堆積膜の影響を最小限に抑える工夫を行っている。イオン・エネルギー・アナライザにおいては側壁に電圧を印加して電子のリターディングやイオンのエネルギー分離を行うので側壁へのポリマー堆積は影響を与える。そこで、側壁電極表面を薄い絶縁膜で覆うことで、ポリマーなどの堆積があっても側壁の容量が殆ど変化しない状況を作ることができ、電圧変動などを抑制することができる。

また、コンタクト・ホール底部のイオン・コレクタ電極部分には高エネルギー

・イオンが常に衝撃するのでポリマーの堆積は極めて少ないと言えるが、信頼性を高め、繰り返し使用回数を長くするためには、測定終了後に底部に高電圧を印加してArイオンあるいは酸素イオンにて表面をクリーニングできるようなシーケンスを組む必要がある。これはプローブやフォトン検出器についても同様の方法で堆積膜の影響を抑制することができる。一方、イオン種・ラジカル種発光分光分析装置に関して、入射イオン・レンズ系はイオン・エネルギー・アナライザと同様の工夫により堆積膜などの影響を制御することは可能である。

マイクロ電子銃および光導波路、マイクロ分光器については、電子銃をカバーする窒化膜スリットを設置したりレイアウトを工夫して、ラジカルが届かないようにする工夫をしている。

#### 【0026】

＜素子によるイオン・シースの擾乱、素子温度の上昇、電磁ノイズ対策＞

素子によるイオン・シースの擾乱については、基板表面の電極とシリコン基板を同電位にすることで防ぐことができる。また、素子温度の上昇に関しては、全てのセンサーをシリコン基板内部に $\mu\text{m}$ オーダー・サイズで作りこむため、エッチング装置の基板冷却により十分に制御することが可能である。電磁ノイズについては、ロックイン・アンプの回路をシリコン基板中に作りこみ、ノイズを除去してイオン電流を測定することで解決できる。

#### 【0027】

##### 【発明の効果】

上述するように、本発明のオンウエハ・モニタリング・システムは、プラズマ処理装置を計測するもので、プラズマ処理装置には何も改造を加えることなく、加工対象である基板の位置におけるモニタがオンラインで可能である。

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】プラズマ処理装置の概要を示す図である。

【図2】本発明のオンウエハ・モニタリング・システムの概略構成を示す図である。

【図3】オンウエハ・モニタリング・システムのウエハ上の構成例を示す図である。

【図4】 オンウエハ・モニタリング・システムの入出力部の構成を示す図である。

【図5】 オンウエハ・モニタリング・システムの電源の構成を示す図である。

【図6】 電源の別の構成を示す図である。

【図7】 オンウエハ・イオン・エネルギー・アナライザの構造を示す図である。

【図8】 イオン・エネルギー・アナライザの測定系を示す図である。

【図9】 イオン・エネルギー・アナライザの製造工程を示す図である。

【図10】 イオン・エネルギー・アナライザの製造工程の続きを示す図である。

【図11】 フォトン検出器の構成を示す図である。

【図12】 イオン・ラジカル分析器の構成を示す図である。

【図13】 電子銃の基本構成を示す図である。

【図14】 イオン・ラジカル分析器に使用する電子銃の構成を示す図である。

【図15】 マイクロ分光器の構成を示す図である。

【図16】 イオン・ラジカル分析器の製造工程を示す図である。

【図17】 イオン・ラジカル分析器の製造工程の続きを示す図である。

【図18】 電子銃の他の構成を示す図である。

【図19】 イオン・ラジカル分析器の他の概略構成を示す図である。

【図20】 マイクロ・プローブの構成を示す図である。

【符号の説明】

|     |                   |
|-----|-------------------|
| 100 | プラズマ処理装置          |
| 110 | プラズマ              |
| 130 | シリコン基板            |
| 132 | レジスト              |
| 200 | オンウエハ・モニタリング・システム |
| 210 | データ入出力部           |

|                              |                    |
|------------------------------|--------------------|
| 212, 214                     | フォト・ダイオード          |
| 216                          | 作動アンプ              |
| 218                          | 選択回路               |
| 250                          | 電源部                |
| 252, 253, 254, 255, 256, 257 | トランジスタ             |
| 262, 263, 264                | 抵抗                 |
| 271, 272, 274                | 電極                 |
| 280                          | PLZT素子             |
| 282, 284                     | 電極                 |
| 400                          | イオン・エネルギー・アナライザ    |
| 411                          | シリコン基板             |
| 412                          | 酸化膜                |
| 413                          | コレクタ電極             |
| 421                          | SiO <sub>2</sub> 層 |
| 422                          | 側壁電極               |
| 424                          | 電子リターディング電圧印加用電極   |
| 426                          | イオン・エネルギー分離電圧用電極   |
| 427                          | 絶縁層                |
| 428                          | 2次電子除去電極           |
| 452                          | 周波数発生器             |
| 454                          | ロックイン・アンプ          |
| 500                          | フォトン検出器            |
| 513                          | コレクタ電極             |
| 514                          | SiO <sub>2</sub> 膜 |
| 550                          | フォトダイオード           |
| 561                          | シリコン基板             |
| 563                          | 鏡                  |
| 600                          | ラジカル・イオン種発光分光装置    |
| 610                          | マイクロ電子銃            |

|          |                    |
|----------|--------------------|
| 614      | 電源                 |
| 615      | イオン・コレクタ電極         |
| 616      | カバー                |
| 622      | 電子減速用電圧            |
| 624      | イオン減速用電圧           |
| 630      | シリコン基板             |
| 631      | 酸化膜                |
| 632      | アルミニウム電極           |
| 633      | シリコン層              |
| 634,     | SiO <sub>2</sub> 層 |
| 635, 636 | プラチナ電極             |
| 637      | デポ避け用カバー           |
| 644      | パターン               |
| 645      | 光導波路               |
| 650      | マイクロ分光器            |
| 651      | シリコン基板             |
| 652      | 酸化膜                |
| 653      | アルミ電極              |
| 654      | シリコン層              |
| 655      | シリコン酸化膜            |
| 656      | プラチナ電極             |
| 657      | 電極                 |
| 674      | 受光素子               |
| 690      | ブレード格子             |
| 712      | 電子放出用電極            |
| 714      | メッシュ電極             |
| 810      | 電子銃                |
| 842, 843 | 光ダイオード             |
| 844      | 狭帯域透過光学フィルタ        |



特 2002-086196

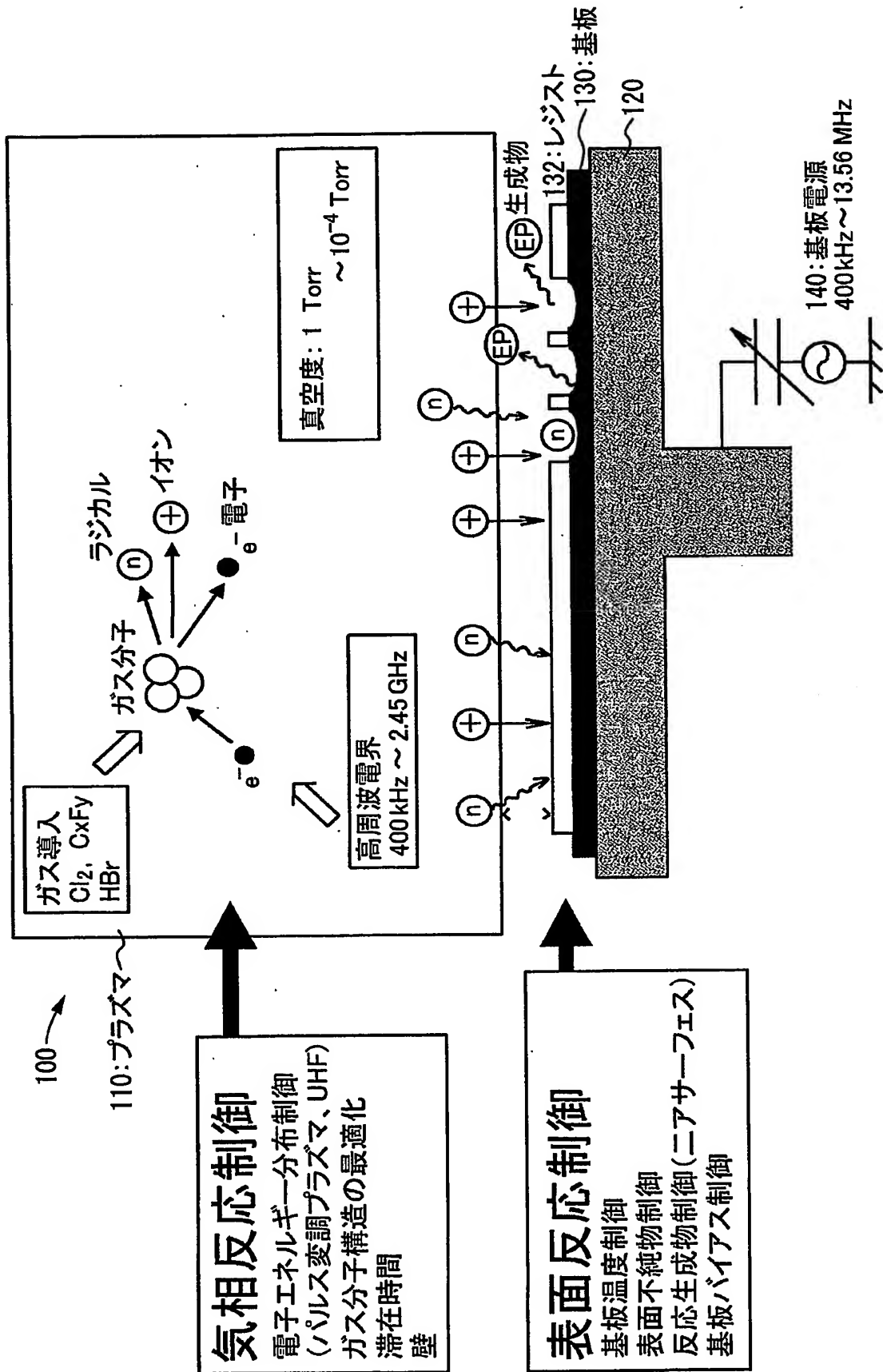
637, 616

カバー

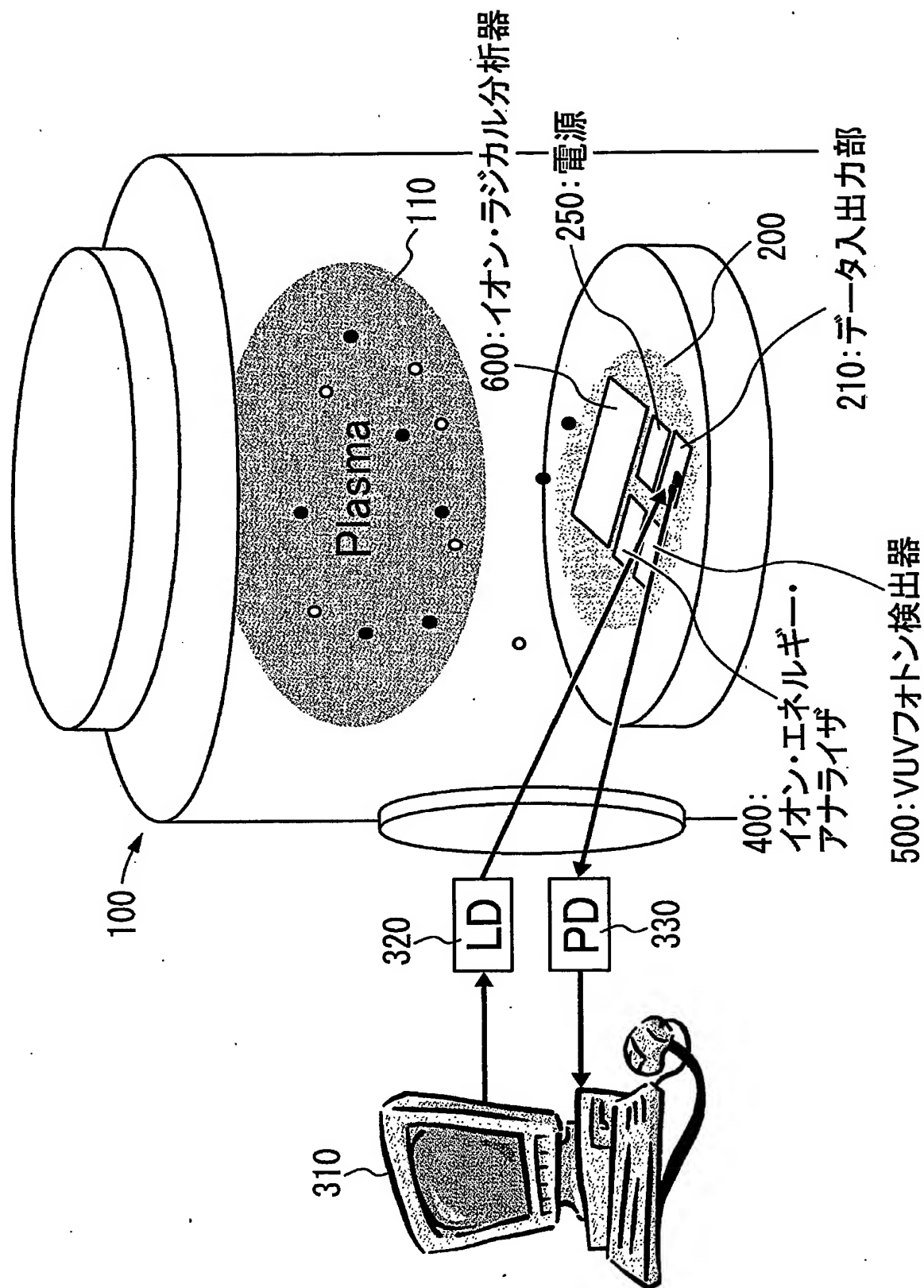
【書類名】

図面

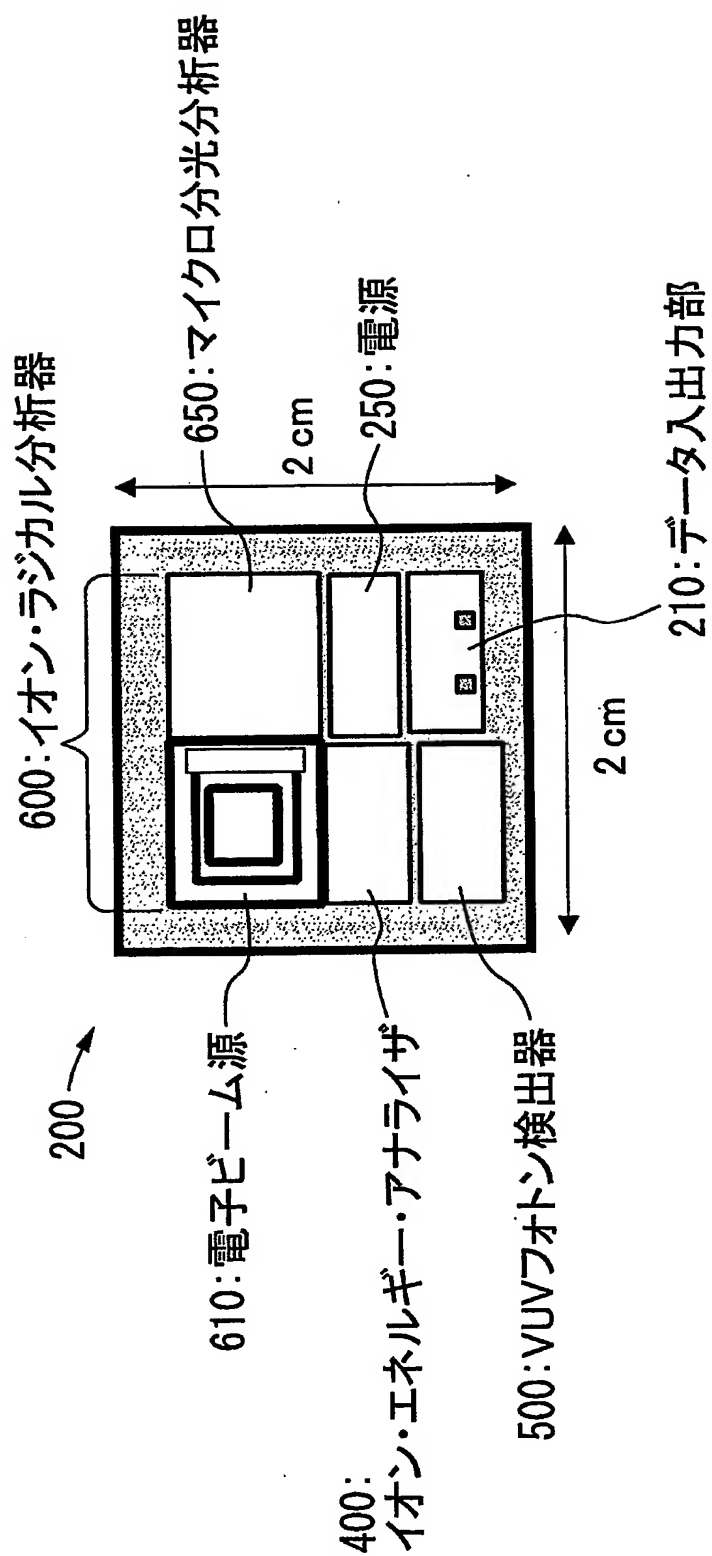
【図 1】



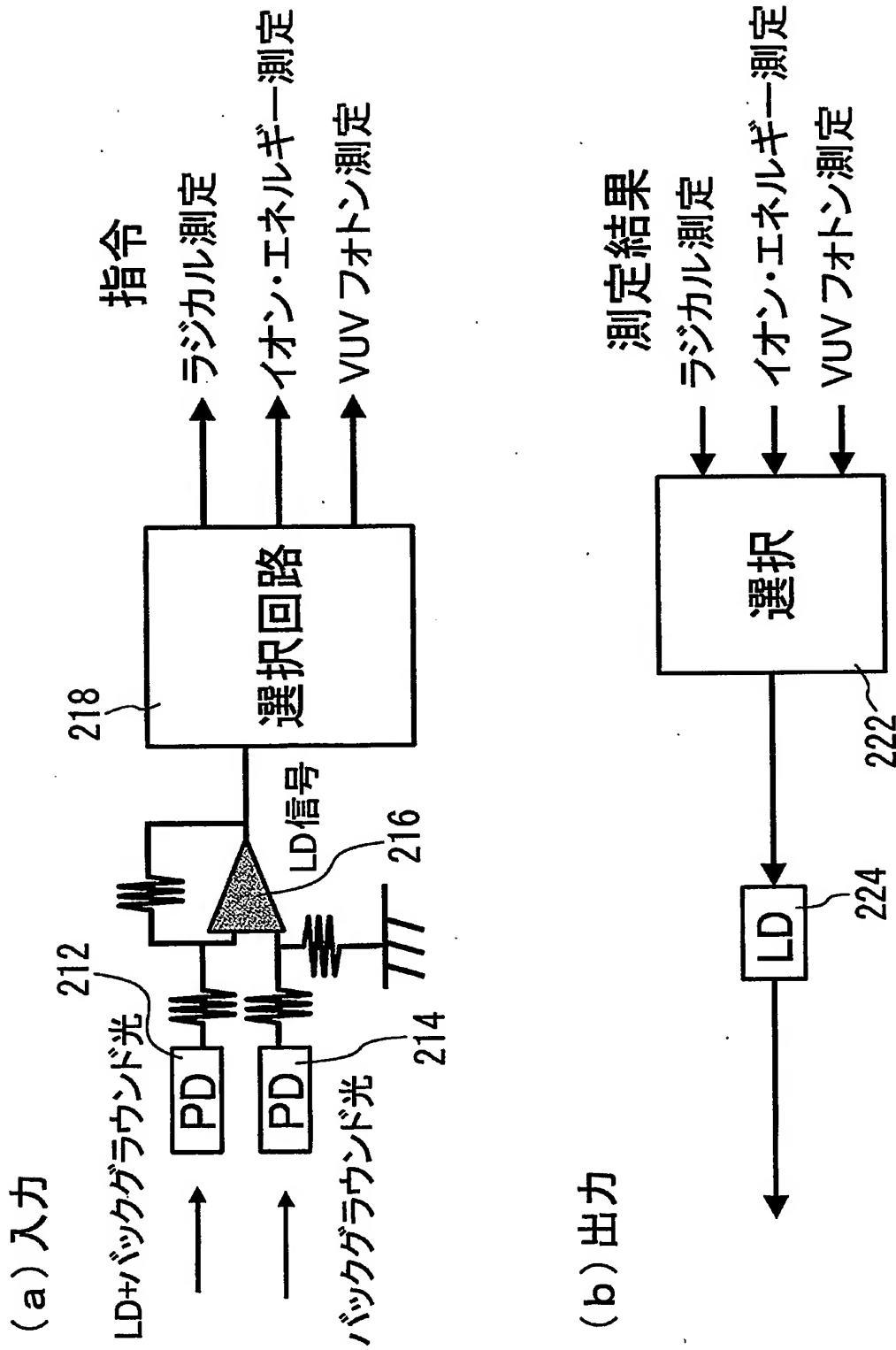
【図 2】



【図 3】

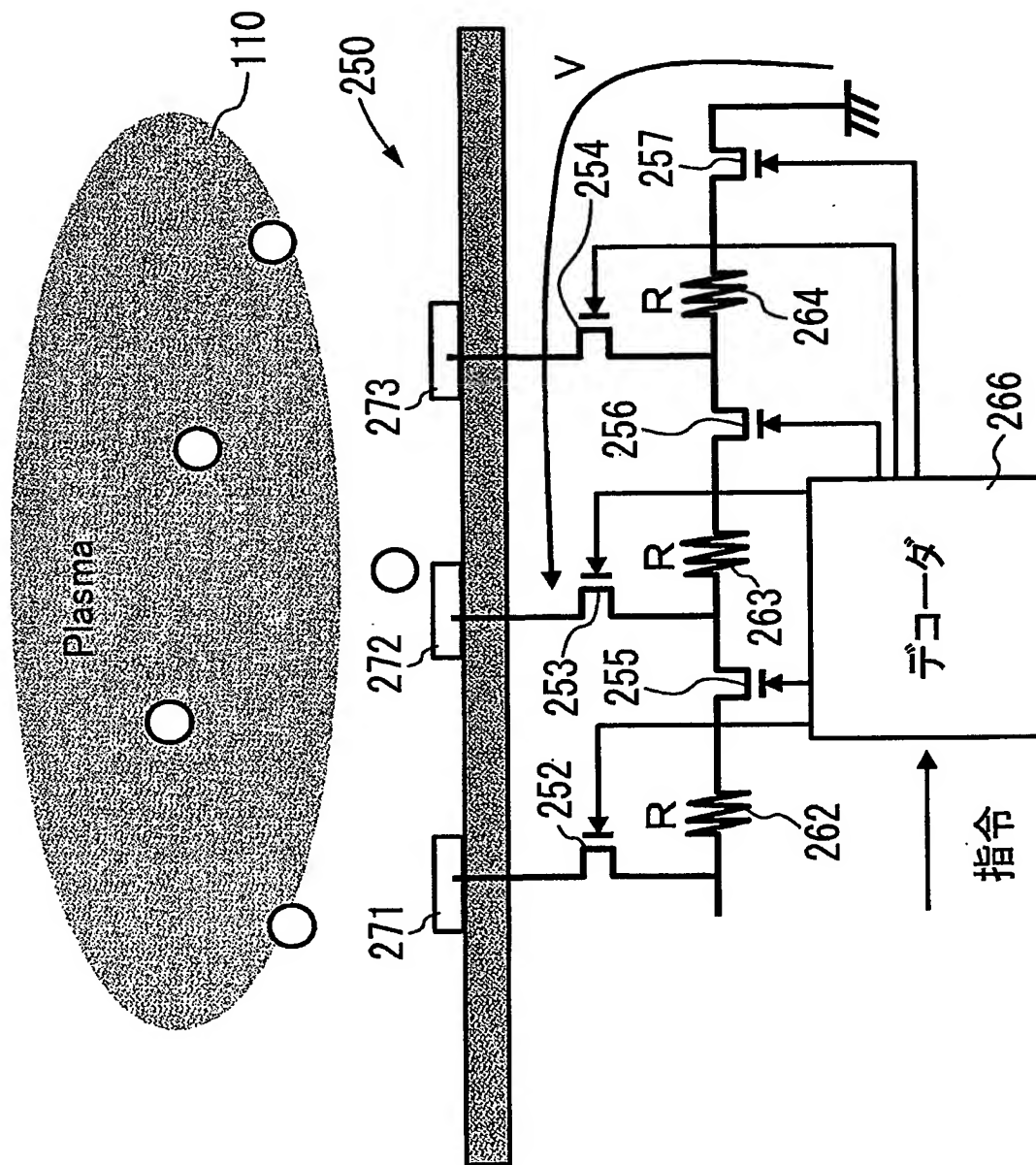


【図 4】

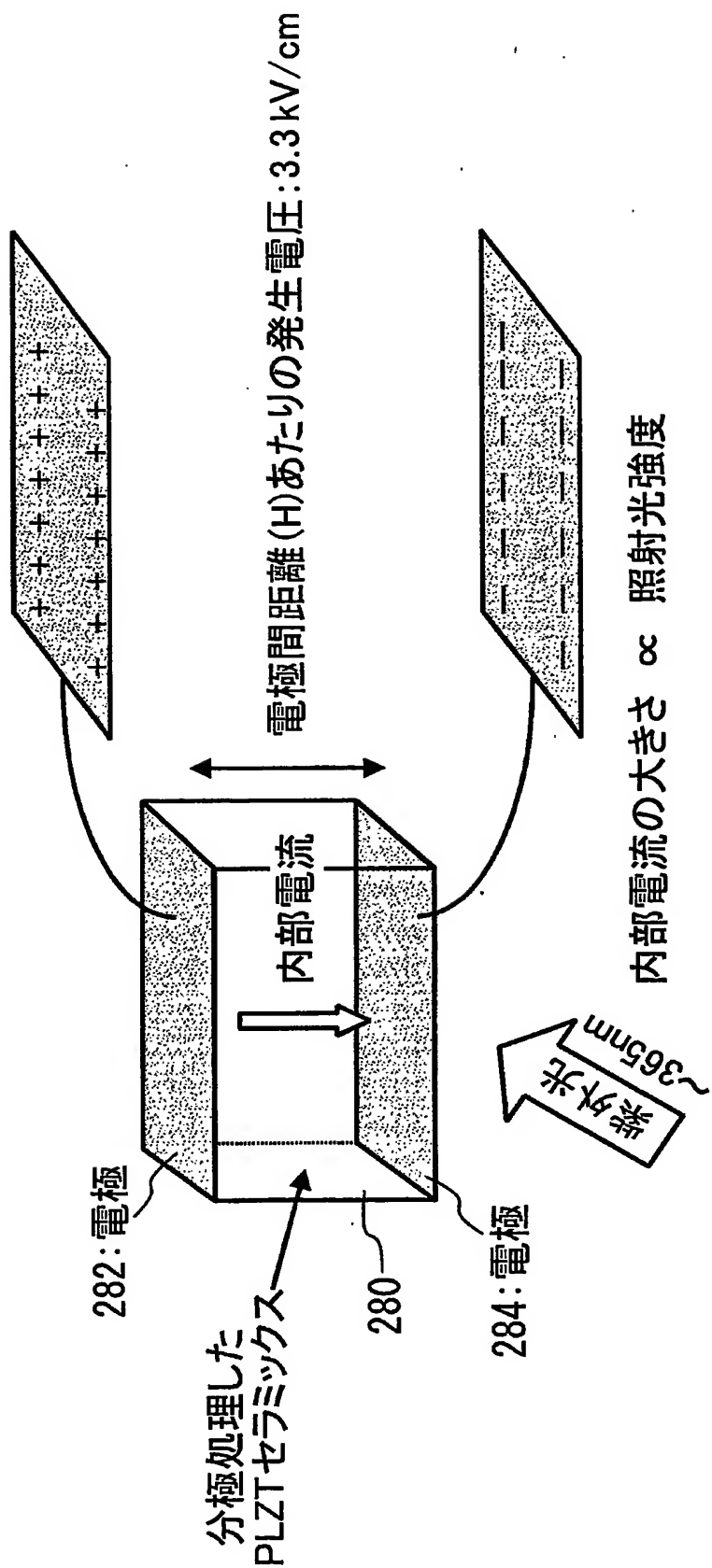


【図 5】

プラズマ空間電位とグラウンドとの電位差を利用



【図 6】

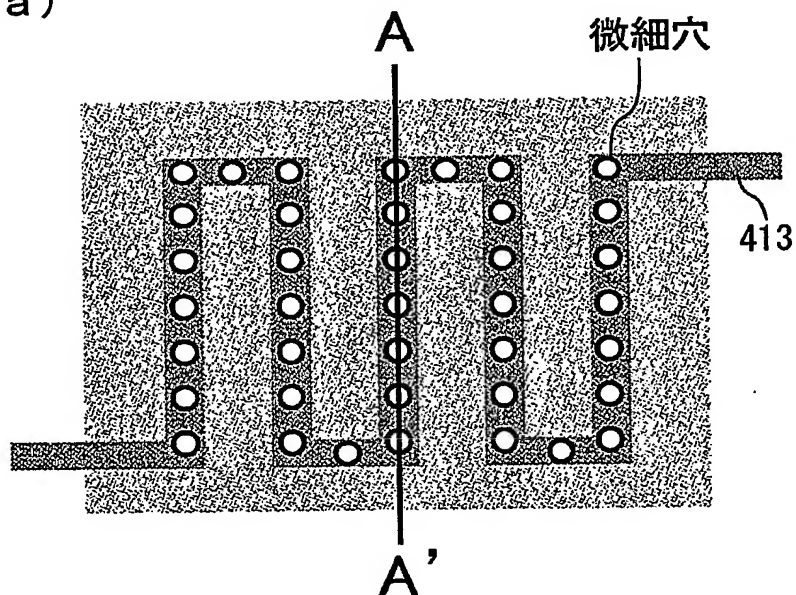




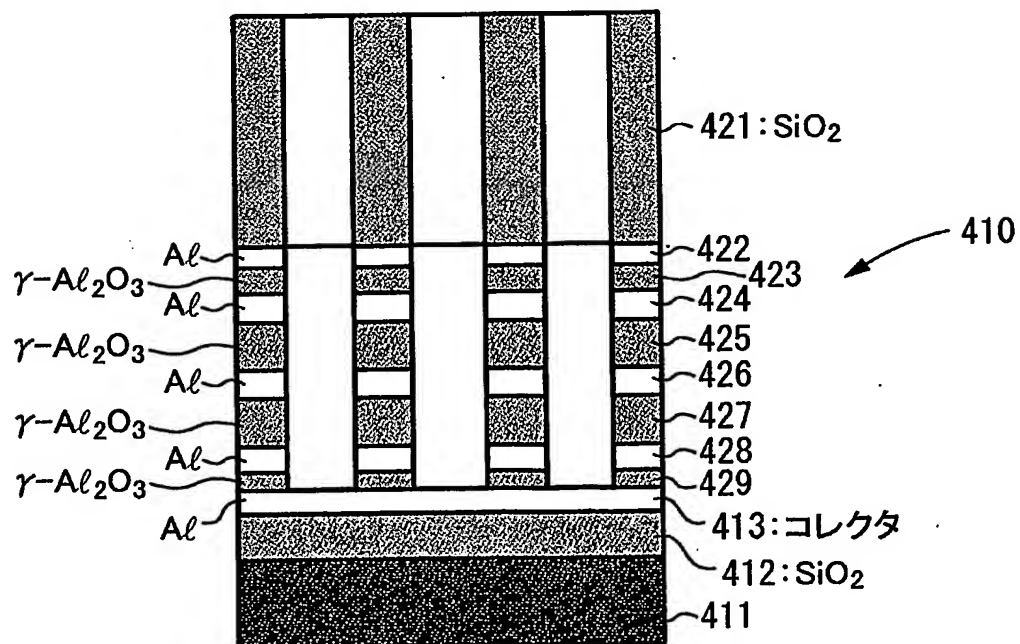
【図 7】

# オンウエハ・イオン・エネルギー・アナライザの構造

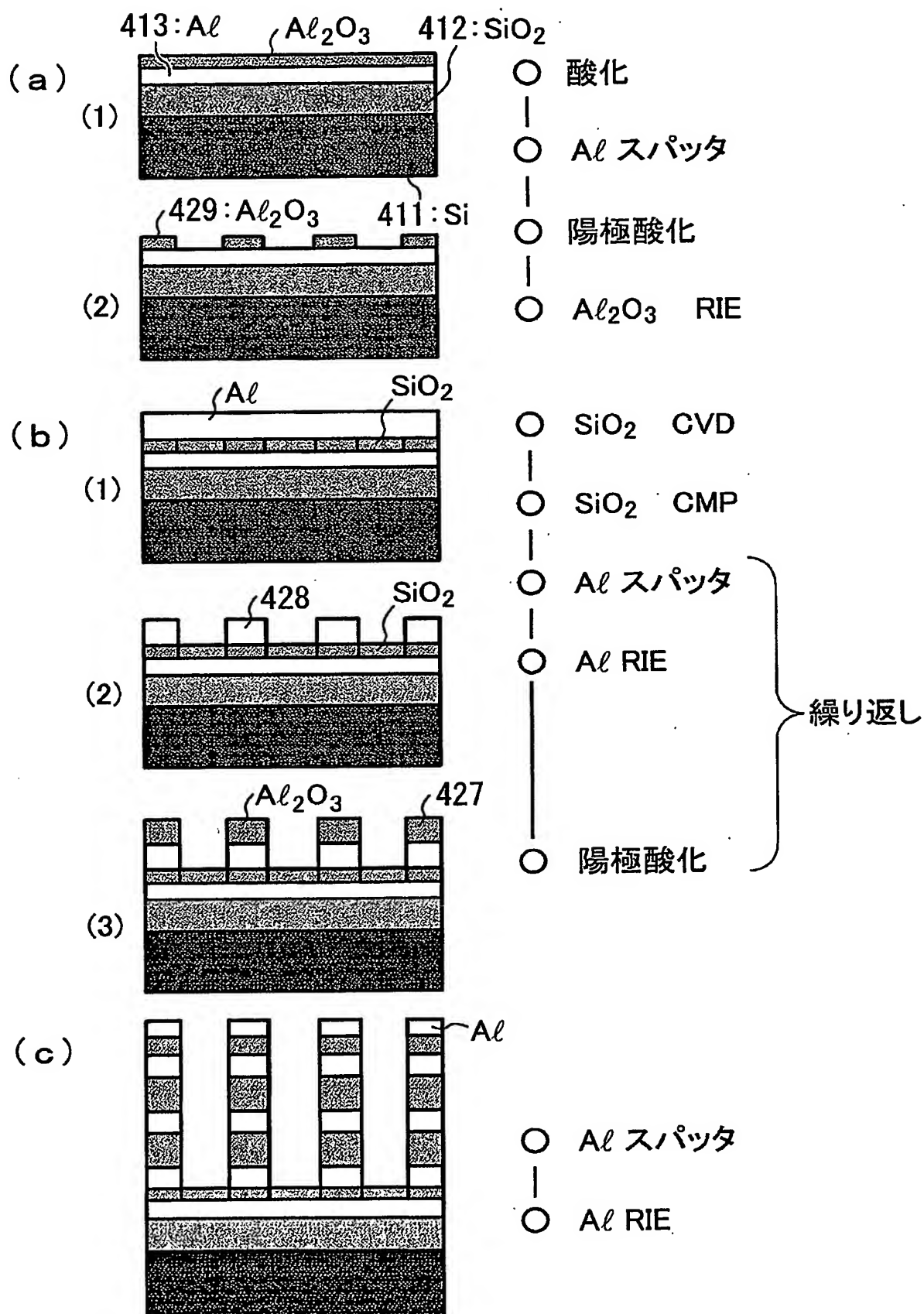
(a)



(b)



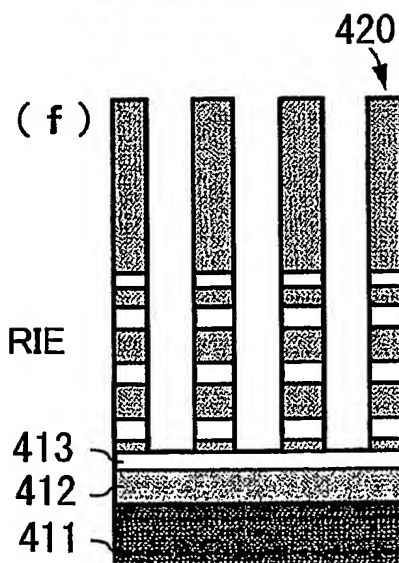
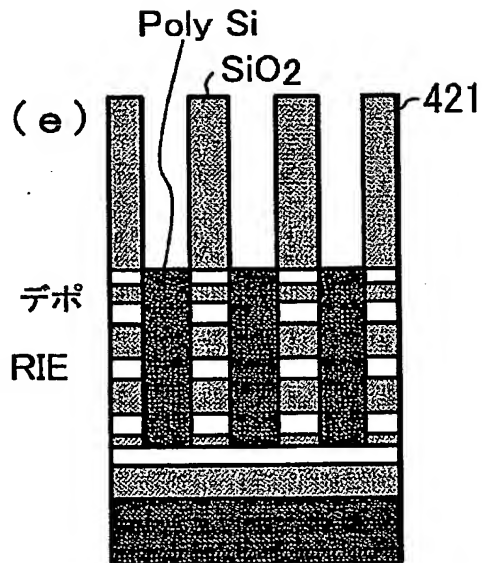
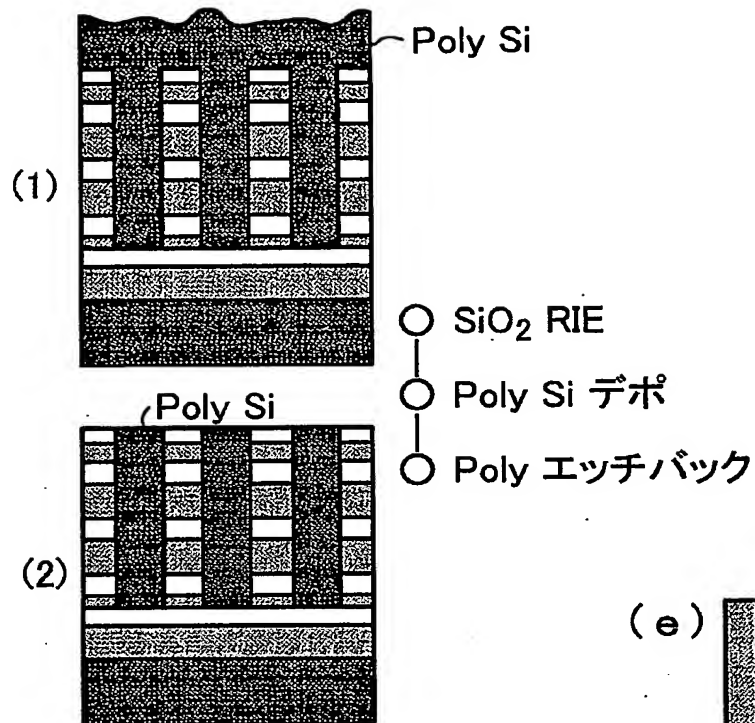




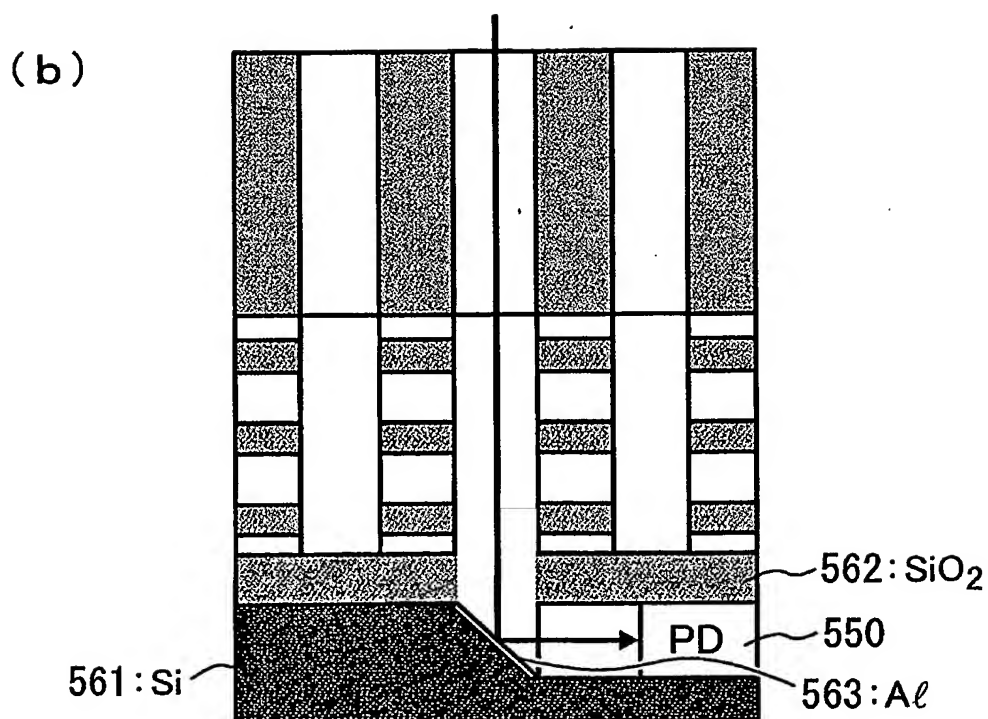
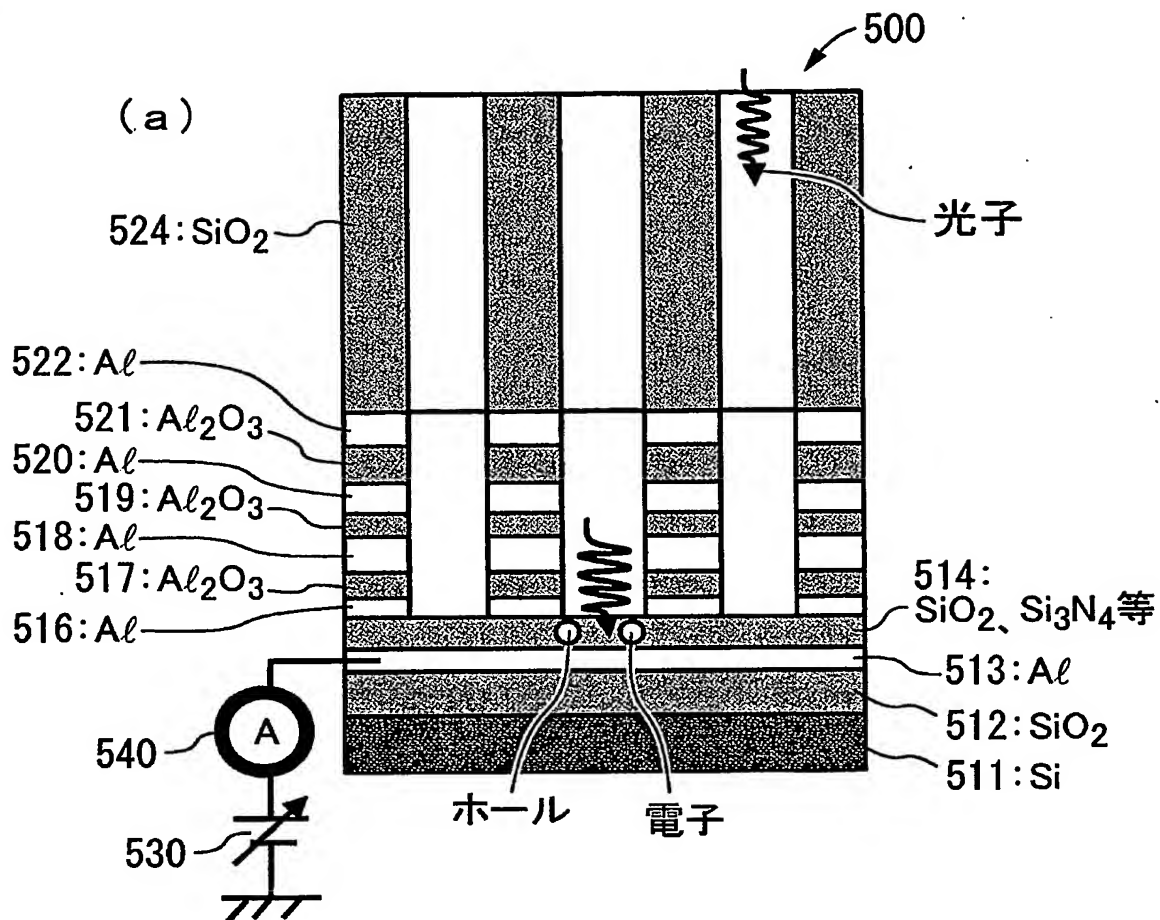
特 2002-086196

【図 10】

(d)



【図 1 1】



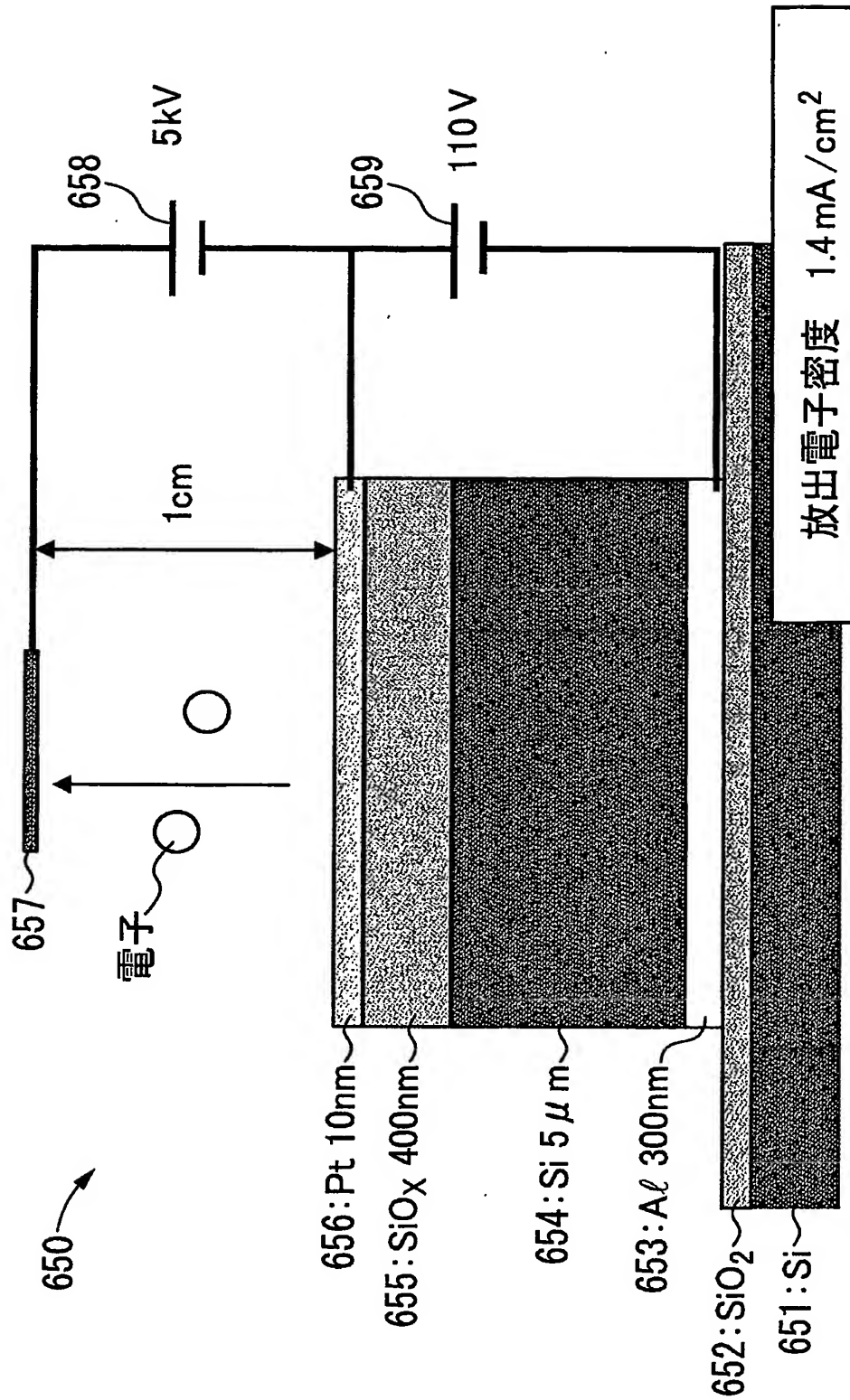
【図 1 2】



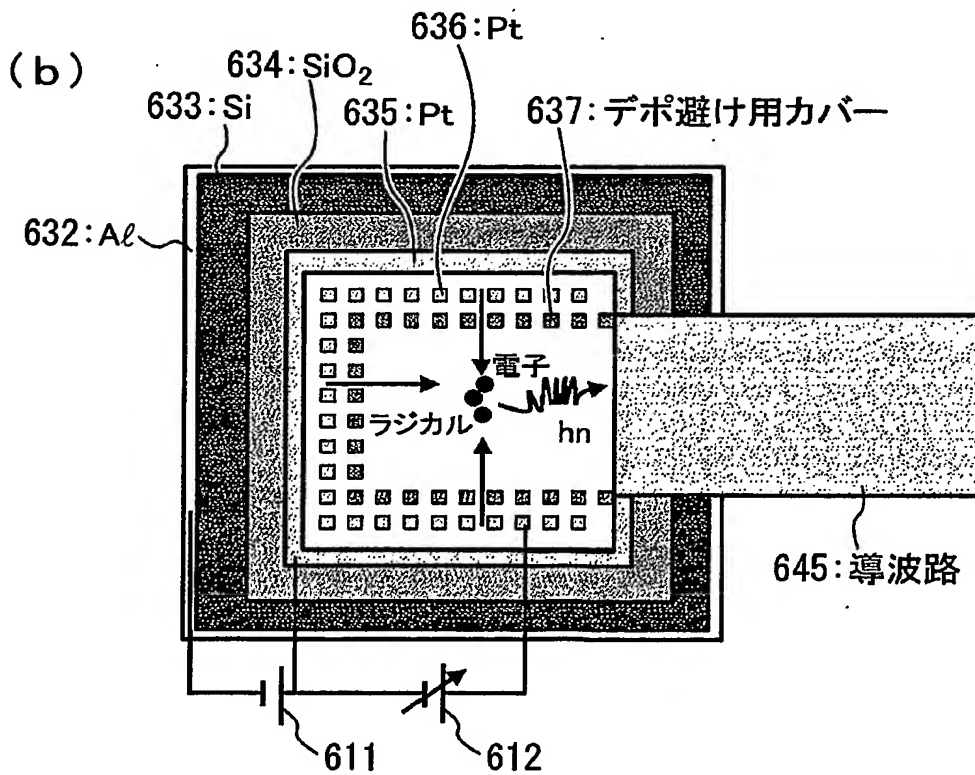
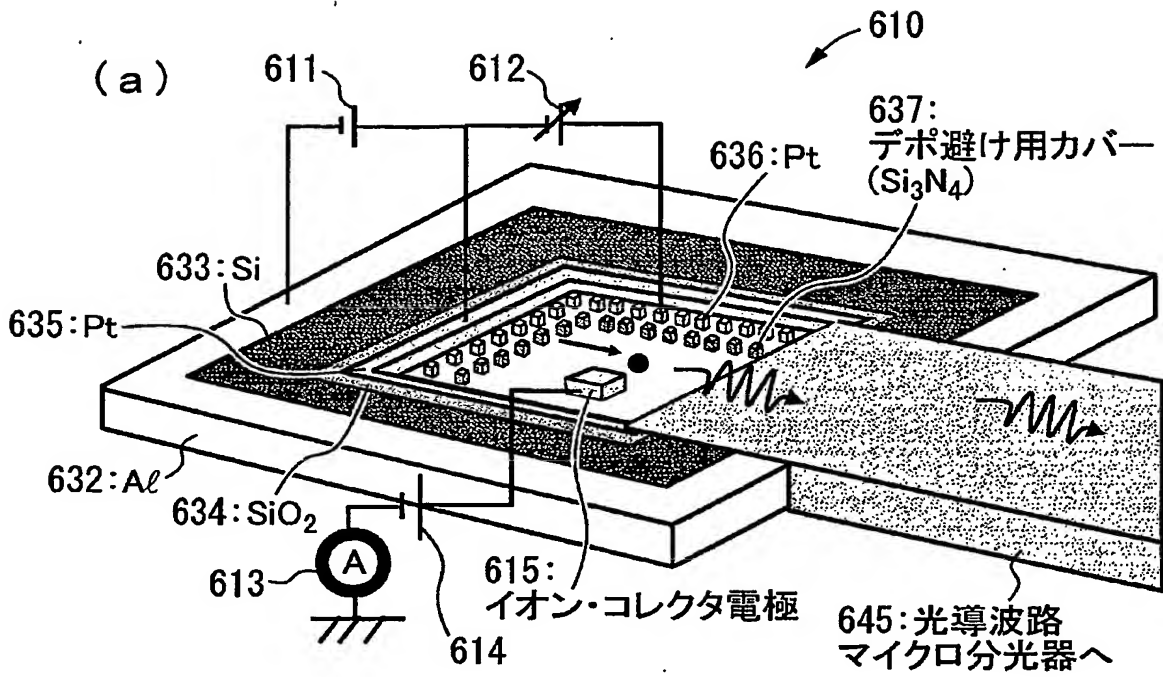


【図 13】

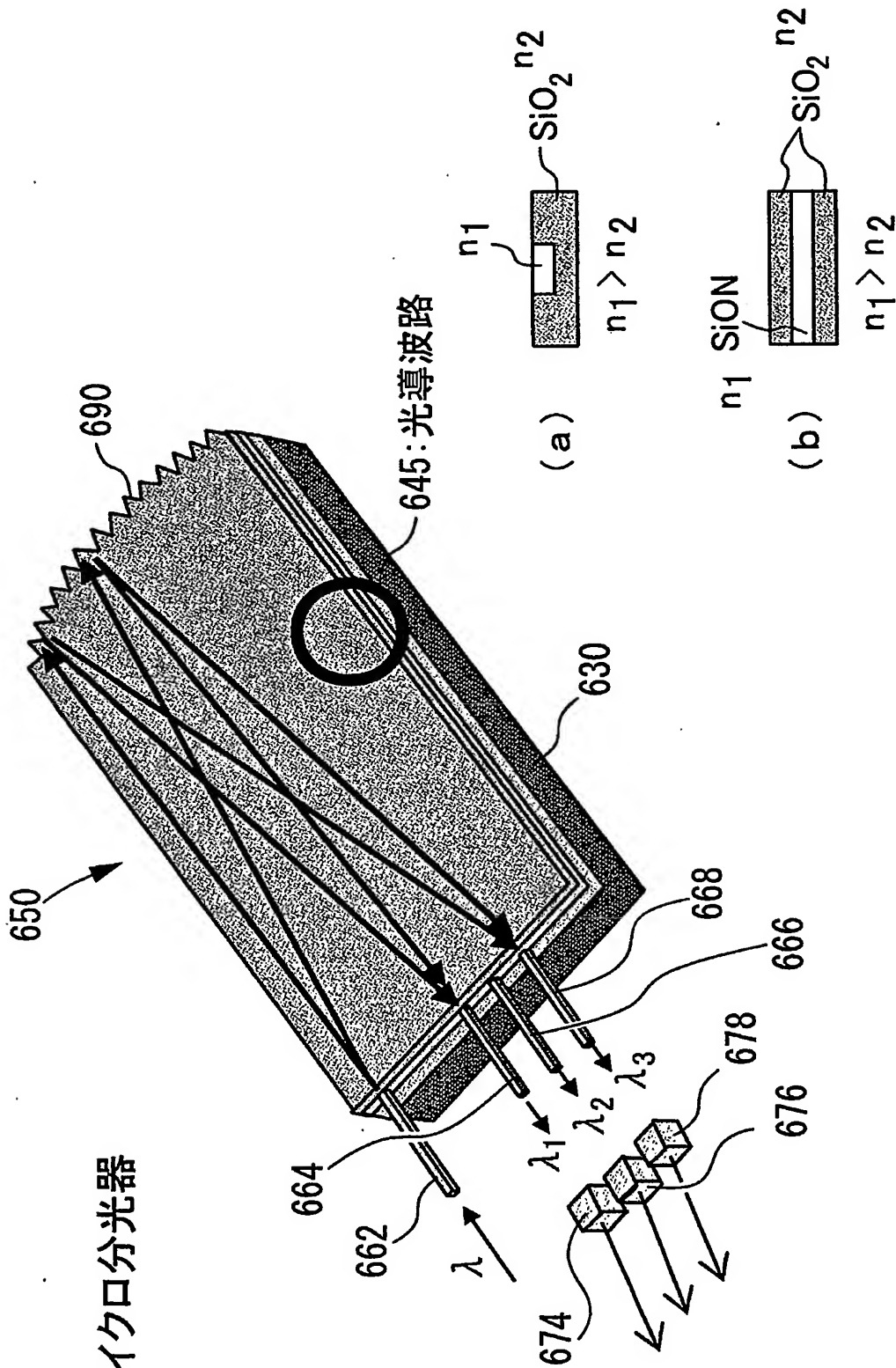
電界放出型電子銃



【図14】



【図 15】



【図 16】マイクログ分光器

# マイクロイオン・ラジカル分析器製造工程(1)

(a) 酸化



(b) Si 堆積、エッチング



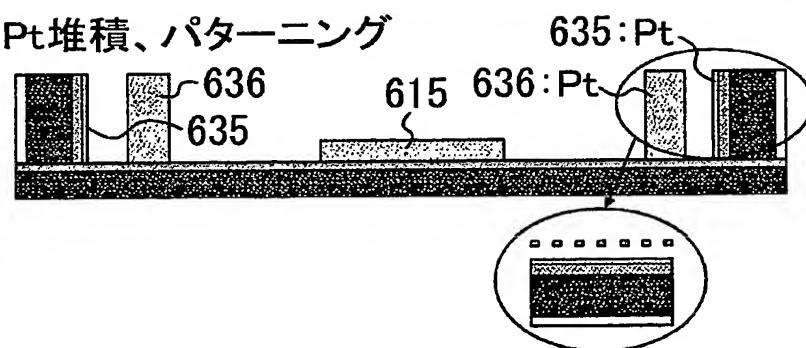
(c) Al 蒸着、エッチング



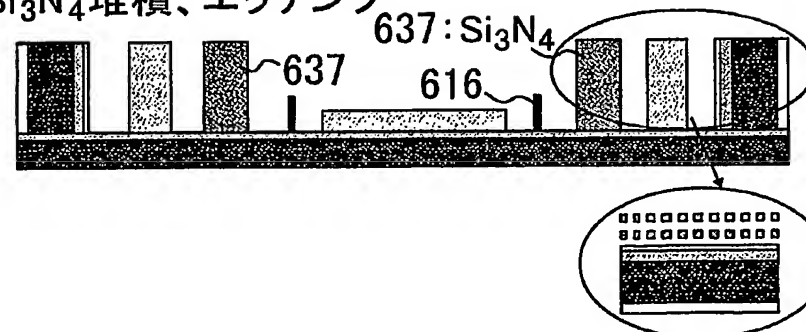
(d) SiO<sub>2</sub> 堆積、エッチング



(e) Pt 堆積、パターニング



(f) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 堆積、エッチング

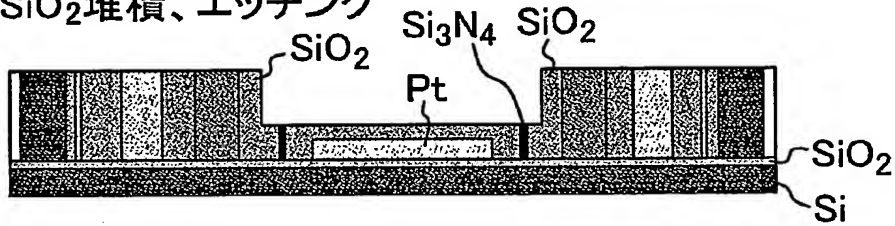


特 2 0 0 2 - 0 8 6 1 9 6

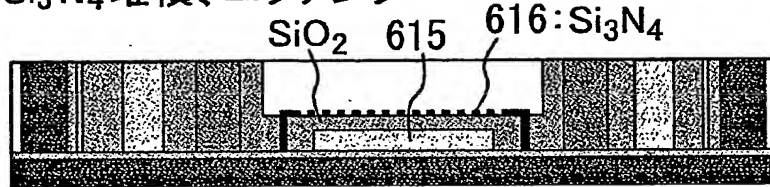
【図 1 7】

# マイクロイオン・ラジカル分析器製造工程(2)

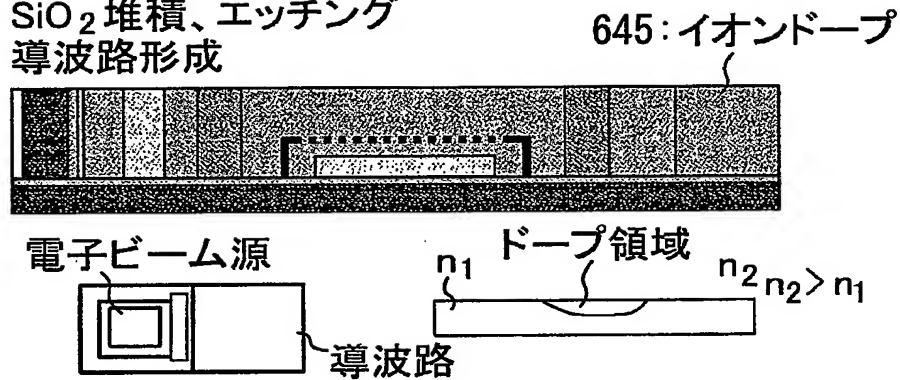
(g) SiO<sub>2</sub>堆積、エッチング



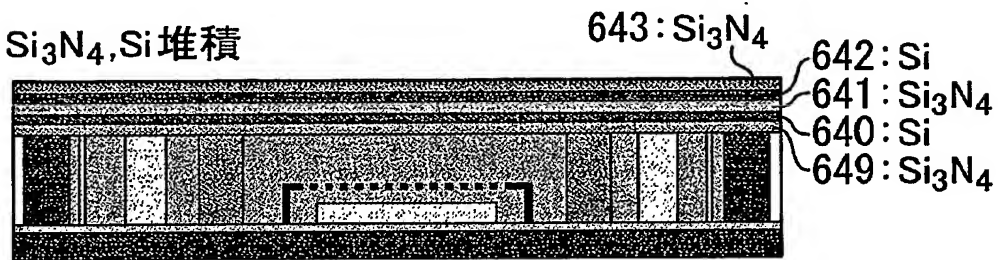
(h) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>堆積、エッチング



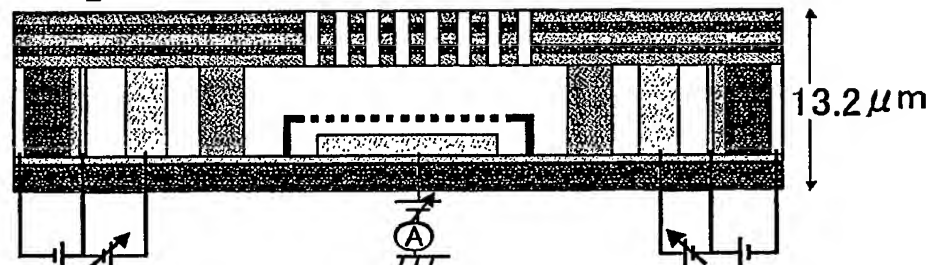
(i) SiO<sub>2</sub>堆積、エッチング  
導波路形成



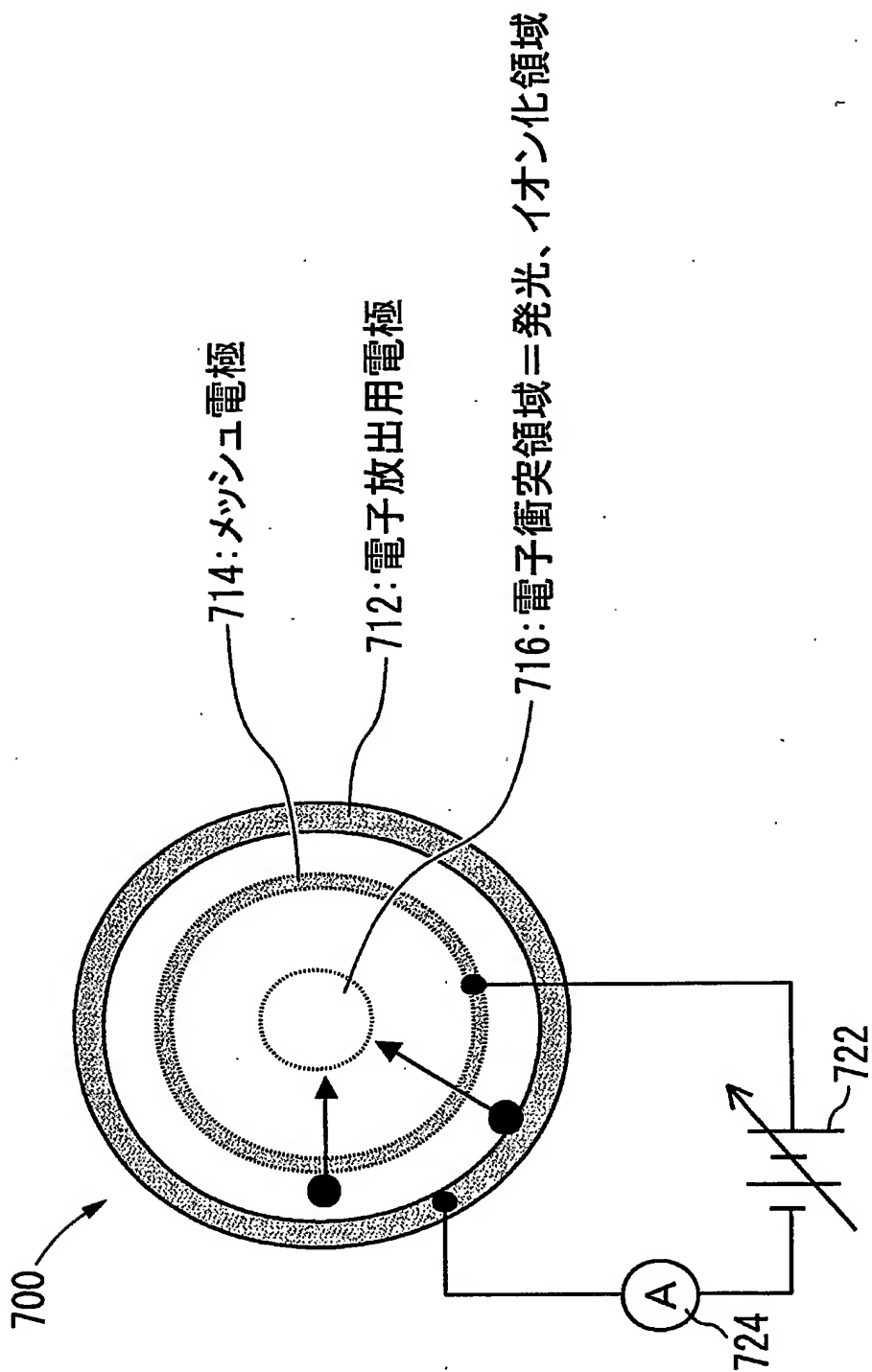
(j) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si堆積



(k) Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Siエッチング  
SiO<sub>2</sub>犠牲層エッチング

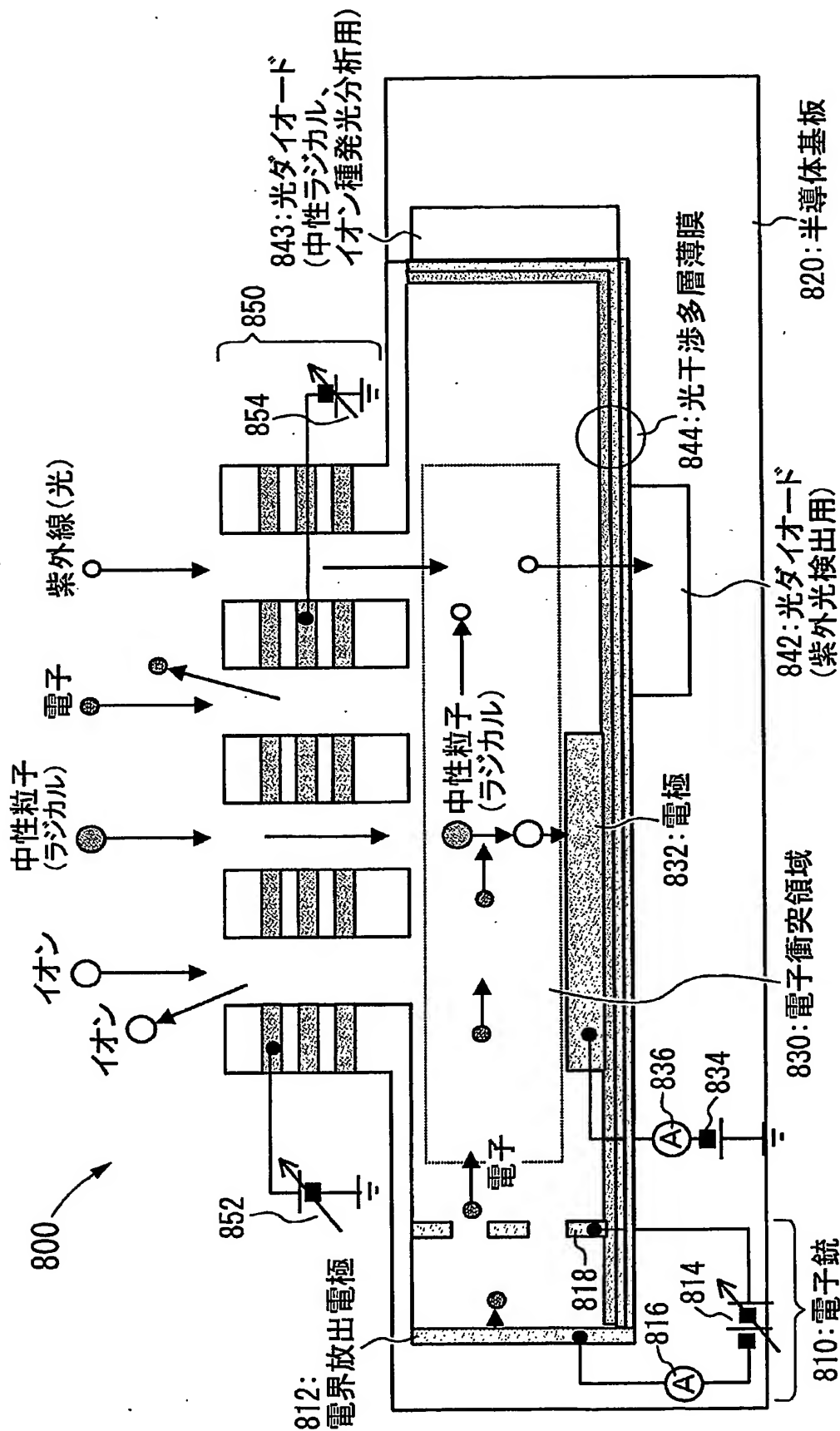


【図 18】



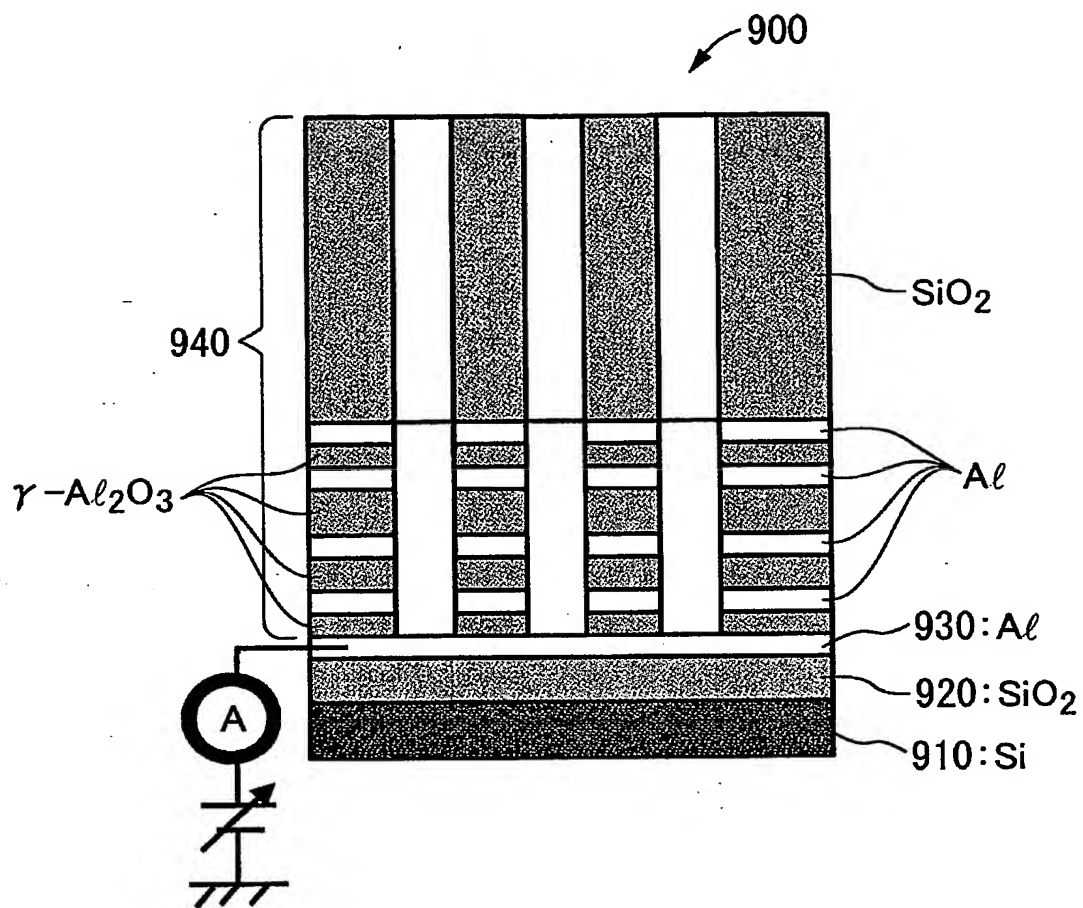
【図 19】





【図 20】

オンウェハ・プローブ



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 プラズマ処理装置で、加工対象である基板の位置におけるモニタを行う。

【解決手段】 オンウエハ・モニタリング・システム 2 0 0 は、プラズマ処理装置 1 0 0 中の処理対象基板の位置に置かれている。オンウエハ・モニタリング・システム 2 0 0 は、各種センサと、光で外部とデータの入出力を行うデータ入出力部 2 2 0 と、これらに電源を供給している内部電源部 2 1 0 とを備えている。オンウエハのデータ入出力部 2 2 0 は、外部に設置されている光による入出力部である、レーザ・ダイオード (LD) 3 2 0 やフォト・ダイオード (PD) 3 3 0 と接続されており、外部からの指令を受信したり、モニタしたデータを外部に送信する。基板上に、センサとして、イオン・エネルギー・アナライザ 4 0 0, VUV フォトン検出器 5 0 0, ラジカル・イオン種発光分光装置 6 0 0 を備えた例である。

【選択図】 図 2

認定・付加情報

|         |                |
|---------|----------------|
| 特許出願の番号 | 特願 2002-086196 |
| 受付番号    | 50200424806    |
| 書類名     | 特許願            |
| 担当官     | 笹川 友子 9482     |
| 作成日     | 平成14年 4月 4日    |

<認定情報・付加情報>

|       |             |
|-------|-------------|
| 【提出日】 | 平成14年 3月26日 |
|-------|-------------|

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [899000035]

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 1. 変更年月日 | 1999年 9月16日         |
| [変更理由]   | 新規登録                |
| 住 所      | 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉468番地 |
| 氏 名      | 株式会社 東北テクノアーチ       |